

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 3 年    2 月 1 9 日  
Date of Application:

出 願 番 号                      特 願 2 0 0 3 - 0 4 1 0 6 0  
Application Number:

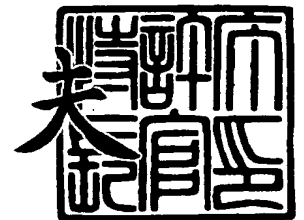
[ST. 10/C]:                      [ J P 2 0 0 3 - 0 4 1 0 6 0 ]

出      願                      人                      日 亜 化 学 工 業 株 式 会 社  
Applicant(s):

2 0 0 4 年    1 月 2 8 日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康



出 証 番 号    出 証 特 2 0 0 4 - 3 0 0 3 6 5 6

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants: Yasunobu SUGIMOTO et al.      Art Unit:  
Application No.: filed concurrently      Examiner:  
Filed      : February 19, 2004  
Title      : NITRIDE SEMICONDUCTOR DEVICE

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Sir:

Under the provisions of 35 USC 119, applicants hereby claim the benefit of the filing date of Japanese Patent Application No. 2003-041060 filed on February 19, 2003.

In support of applicants' claim for priority, filed herewith is the certified copy of the Japanese priority document.

It is respectfully requested that the receipt of the certified copy attached hereto be acknowledged in this application.

If any fees are due in connection with this filing, please charge our Deposit Account No. 19-2586, referencing Attorney Docket No. 0055/064001.

Submission of Priority Document  
Application No.: filed concurrently  
Page 2

If there are any questions regarding this application, please  
telephone the undersigned at the telephone number listed below.

Respectfully submitted,

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "Randolph A. Smith", written over a horizontal line.

Randolph A. Smith  
Reg. No. 32,548

Date: February 19, 2004

SMITH PATENT OFFICE  
1901 Pennsylvania Ave., N.W.  
Suite 200  
Washington, D.C. 20006-3433  
Telephone: 202/530-5900  
Facsimile: 202/530-5902  
Sugimoto021904

【書類名】 特許願

【整理番号】 12003015

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

    【住所又は居所】 徳島県阿南市上中町岡 4 9 1 番地 1 0 0  
                        日亜化学工業株式会社内

    【氏名】 杉本 康宜

【発明者】

    【住所又は居所】 徳島県阿南市上中町岡 4 9 1 番地 1 0 0  
                        日亜化学工業株式会社内

    【氏名】 米田 章法

【特許出願人】

    【識別番号】 000226057

    【氏名又は名称】 日亜化学工業株式会社

    【代表者】 小川 英治

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 010526

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物半導体素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体層上に、オーミック接触する第 1 電極と、その上に接し、前記第 1 電極と異なる形状からなる第 2 電極とを有する窒化物半導体素子であって、

前記第 1 電極と前記第 2 電極は、第 1 電極表面を形成する第 1 電極の上層と、熱処理された第 1 電極に堆積された第 2 電極の下層とからなる接合層領域を有し

、  
前記接合層領域が白金族元素からなることを特徴とする。

【請求項 2】 半導体層上に、オーミック接触する第 1 電極と、その上に接し、前記第 1 電極と異なる形状からなる第 2 電極とを有する窒化物半導体素子であって、

前記第 1 電極と前記第 2 電極は、第 1 電極表面を形成する第 1 電極の上層と、熱処理された第 1 電極に堆積された第 2 電極の下層とからなる接合層領域を有し

、  
前記第 1 電極の上層と前記第 2 電極の下層は同一元素もしくは同一材料からなることを特徴とする。

【請求項 3】 前記第 1 電極は、熱処理合金化材料からなる下層を有する請求項 1 又は請求項 2 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 4】 前記第 1 電極の上層は、単一の白金族元素からなる白金族単一層、又は、白金族元素における同族元素で構成された合金化層からなる請求項 1 乃至請求項 3 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 5】 前記第 2 電極の下層は、単一の白金族元素からなる白金族単一層、又は、白金族元素の合金層からなる請求項 1 乃至請求項 4 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 6】 前記第 1 電極の上層は、Pt からなる請求項 1 乃至請求項 5 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 7】 前記第 2 電極の下層は、Pt からなる請求項 1 乃至請求項

6 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 8】 前記第 1 電極が設けられた半導体層表面は、電極形成領域と絶縁膜形成領域とを有し、前記第 2 電極は、前記電極形成領域から絶縁膜形成領域とを被覆する請求項 1 乃至請求項 7 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 9】 前記絶縁膜形成領域は、ストライプ状の前記電極形成領域を挟む複数の領域、又は、電極形成領域に分離された複数の領域である請求項 8 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 10】 前記窒化物半導体素子は、凸部からなるリッジを備えたレーザ素子であり、前記第 1 電極は、前記リッジ上面に接して形成されている請求項 1 乃至請求項 9 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 11】 前記リッジの両側面及びその側面から連続する半導体層の平面上に第 1 の絶縁膜を有するとともに、第 1 の絶縁膜上から前記半導体層の側面にかけて連続する第 2 の絶縁膜を有してなり、前記第 1 電極は、前記第 2 の絶縁膜と離間するよう形成されている請求項 10 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 12】 前記第 1 の絶縁膜及び／又は第 2 の絶縁膜は、単層又は多層構造の密着層で被覆されている請求項 10 又は請求項 11 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 13】 前記密着層は、最上層が、白金族元素を含む層からなる請求項 12 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 14】 前記密着層は、最上層が、第 1 電極の上層と同一元素又は同一材料からなる請求項 12 又は請求項 13 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 15】 前記密着層の上層は、Pt である請求項 12 乃至請求項 14 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 16】 前記密着層は、前記第 1 電極の上又は下に接して形成される請求項 12 乃至請求項 15 記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、窒化物半導体を用いた半導体層に、微小面積（幅）の電極が設けら

れた半導体素子に関し、特に、大電流駆動素子（レーザダイオード、ハイパワーLED、FET等の電子素子、高周波素子）に関するものである。半導体素子の具体的な組成としては、GaN、AlN、若しくはInN、又はこれらの混晶であるAlGaN系、InGaN系、AlInGaN系を含むIII-V族窒化物半導体が挙げられる。

#### 【0002】

##### 【従来の技術】

窒化物半導体素子は、比較的短波長の紫外線領域から赤色を含む可視光領域までの広い波長領域の発光を有しており、半導体レーザダイオード（LD）や発光ダイオード（LED）などを構成する材料として広く用いられている。近年は、小型化、長寿命化、高信頼性、かつ高出力化が進み、主にパーソナルコンピュータ、DVDなどの電子機器、医療機器、加工機器や光ファイバ通信の光源などに利用されている。

#### 【0003】

このような窒化物半導体素子は、主としてサファイア基板の上にバッファ層、n型コンタクト層、クラック防止層、n型クラッド層、n型光ガイド層、活性層、p型電子閉じ込め層、p型光ガイド層、p型クラッド層、p型コンタクト層などが順に積層された積層構造体からなっている。LEDでは、光ガイド層等は省略することができる。そして、このような積層構造体に電極が設けられ、通電により活性層を発光させているものである。

#### 【0004】

上記のような窒化物半導体素子に設けられる電極は、半導体層とオーミック接触するための電極（オーミック電極）が重要であり、主として仕事関数の大きい金属が用いられ、それら金属の単層膜、多層膜、或いは合金が用いられている。材料によっては半導体層上に金属膜を成膜するだけで半導体層とオーミック接触が可能であり、このような材料としては、Pd/Pt/Auの多層膜からなるp電極が挙げられる。また、成膜しただけでは半導体層とオーミック接触しにくい電極材料は、熱処理工程を行うことでオーミック接触が可能となる。例えばNi/Auの多層膜からなるp電極の場合は、成膜（積層）後に合金化して透明なオ

ーミック電極とすることができる。

#### 【0005】

また、半導体層と接する上記オーミック電極とは別に、ワイヤをボンディングさせるための引き出し用の電極（パッド電極）が設けられている。絶縁性の基板を用いている場合は p 電極と n 電極が同一面側に設けられているので、その両方にパッド電極が設けられる。n 電極の場合は、比較的オーミック接触させやすいので、オーミック電極を取り出し用の電極としてワイヤを設けることも可能である。また、第 2 電極の上に、ワイヤではなく、外部電極等と接続させるためのメタライズ層を形成させることで、フェイスダウンでも用いることができる、

#### 【0006】

更に、n 電極と p 電極の間には、短絡を防止するための絶縁膜が設けられている。絶縁膜は、酸化物などが用いられ、単層或いは多層膜で形成されている。LD においては、絶縁膜は、電流注入領域を制御する電流狭窄層として、或いは、共振器面に設けて反射膜として用いるなど、他の機能を有する機能膜としても用いられている。

#### 【0007】

##### 【特許文献 1】

特開 2000-299528 号公報

#### 【0008】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記で挙げた Ni/Au 電極は、熱処理時に表面が荒れ易い。そのため、パッド電極との界面で抵抗が高くなる場合がある。また、電極に絶縁膜が接している場合は、その絶縁膜が熱処理時に変質して電極との密着性が悪くなるなどの問題が生じる。また、Pd/Pt/Au 電極では、熱処理を行わないため上記のような問題は生じにくい。が、素子駆動時に素子温度が上昇すると、その熱によって特性が変化して、動作電圧の上昇を招く恐れがある。また、膜厚を薄くする場合や、大面積で形成する場合では、密着性や機械的強度が劣るため、大電流駆動時に問題が生じる。そこで、本発明は上記問題を鑑み、半導体層との接触抵抗や、パッド電極とオーミック電極との間の界面抵抗が低く、かつ、半導



体層や絶縁膜との密着性にも優れた電極を実現することで、閾値電流や動作電圧が低く優れた素子特性を有する窒化物半導体素子を提供することを目的とする。

#### 【0009】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明における窒化物半導体素子は、半導体層上に、オーミック接触する第1電極と、その上に接し、第1電極と異なる形状からなる第2電極とを有する窒化物半導体素子であって、第1電極と第2電極は、第1電極表面を形成する第1電極の上層と、熱処理された第1電極に堆積された第2電極の下層とからなる接合層領域を有し、接合層領域が白金族元素からなることを特徴とする。このような構成とすることで、優れた密着性を有し、かつ、動作電圧の低い電極を有する窒化物半導体素子とすることができる。

#### 【0010】

本発明の請求項2に記載の窒化物半導体素子は、半導体層上に、オーミック接触する第1電極と、その上に接し、第1電極と異なる形状からなる第2電極とを有する窒化物半導体素子であって、第1電極と第2電極は、第1電極表面を形成する第1電極の上層と、熱処理された第1電極に堆積された第2電極の下層とからなる接合層領域を有し、第1電極の上層と第2電極の下層は同一元素もしくは同一材料からなることを特徴とする。このような構成とすることで、優れた密着性を有し、かつ、動作電圧の低い電極を有する窒化物半導体素子とすることができる。

#### 【0011】

本発明の請求項3に記載の窒化物半導体素子は、第1電極は、熱処理合金化材料からなる下層を有することを特徴とする。熱処理合金化材料からなる第1電極の下層は、熱処理によって何らかの熱的变化を伴う層であり、成膜時（熱処理前）とは異なる層内構造を有するものである。例えば、成膜時に多層構造であったとしても、熱処理後はその多層構造を維持せず、合金化材料が混在化された合金化層となっている。本発明のように、半導体層と接する下層を、その材料に関わらず熱処理によって合金化された材料からなる層とすることで、単に半導体層上に堆積された状態の積層膜に比して、半導体層との密着性が良好な第1電極とす

ることができる。また、半導体層の組成や、電極材料によっては、熱処理しなくてもオーミック接触可能な場合もある。しかし、内部量子効率及び外部量子効率が低い半導体素子では、素子駆動時には何らかの熱が発生するので、その熱によって特性が変化する場合もある。そのため、第1電極の下層が単一元素からなる場合であっても、熱処理を施すことで半導体層との密着性が向上し、素子駆動時の熱によって特性が変化しにくくすることができる。そして、このような下層を有する第1電極の上層と、第2電極の下層とが接合層領域を形成して、その接合層領域が白金族元素からなることで、第2電極との密着性も向上させることができるので、半導体層から第2電極までが極めて優れた密着性で接合することができる。これにより、動作電圧が低く、また、高出力時の電圧が上昇しにくいいため経時変化の少ない、信頼性に優れた素子を実現することができる。

#### 【0012】

また、第1電極の下層が上記熱処理合金化材料からなる場合であって、上層が白金族元素以外材料であっても、第2電極の下層と第1電極の上層とが同一元素、或いは同一材料であり、それらが、導電性に優れ、安定な特性を維持できるものであれば、密着性に優れた接合層領域を形成させることができる。但し、熱処理時に、第1電極の上層と下層とが反応して合金化され、絶縁性の酸化物を形成するような材料には適用できない。

#### 【0013】

したがって、第1電極の上層と、第2電極との下層との両方が白金族元素となり、かつ、同一元素、又は白金族元素の合金、又は、白金族元素の導電性酸化物等によって第1電極の上層と第2電極の下層とを構成することで、極めて低抵抗で、密着性に優れ、かつ、経時変化しにくく信頼性に優れた電極構造とすることができる。

#### 【0014】

本発明の請求項4に記載の窒化物半導体素子は、第1電極の上層は、単一の白金族元素からなる白金族単一層（Pt、Pd、Rh、Ir、Ru、Os層）、又は、白金族元素における同族元素で構成された合金化層（Ru-Os層、Rh-Ir層、Pd-Pt層）からなることを特徴とする。このような材料からなる上

層は、比較的熱に対して安定である。そのため、下層に熱処理合金化材料が形成される場合であっても、それら下層と合金化されにくく、下層との界面近傍では何らかの反応が起こるものの、その反応が層内部にまで進行せずに界面を安定な状態とすることができる。第1電極の上層と第2電極の下層とを同一の材料とすることで、より低抵抗で、動作特性が安定な電極とすることができる。また、白金族単一層ではなく、合金化層からなる場合、その合金化層内部の材料は、熱処理によって合金化されており、単に堆積された合金層に比して結合力が増大して硬くなっている。下層の熱処理合金化材料とは合金化されず、上層と下層との積層形態は熱処理後においても維持されている。

#### 【0015】

また、第1電極の上層の表面は、熱処理時に外気に曝露されているため、外気とも反応する。但し、上記のような白金族元素系の層であると、外気と反応しにくく、特に、絶縁性の高い酸化物を形成しにくい。しかし、酸素が存在する以上、何らかの状態、第1電極上層の表面に吸着していると考えられる。特に、白金族元素が触媒作用を有する元素であるため、その原子の周囲に酸素が配位されたような状態で存在していると考えられる。ここでの反応は、以下のようになっていると推測される。

#### 【0016】

図6は、窒化物半導体のp型半導体層に形成されたリッジの側面及びリッジ両脇のp型半導体層平面上に第1の絶縁膜609が形成され、リッジ上部の窒化物半導体層と、第1の絶縁膜の上に第1電極の下層605(b)及び上層605(a)と、その上に接合層領域613を介して第2電極の下層606(b)及び上層606(a)とが形成された窒化物半導体レーザ素子のリッジ周辺部を示す模式図である。第1電極の熱処理工程後には、図6(A)に示すように、白金族元素の上層の表面には酸素が吸着(配位)した状態となっていると考えられる。そして、第2電極形成時に、スパッタ法などによって加速された第2電極下層の原料が第1電極表面に衝突する。その際、図6(B)に示すように、吸着していた酸素がはじかれ、代わりに加速された白金族原料が第2電極内部にまで入り込んで接合層領域613が形成されはじめる。そして、最終的には図6(B)及び(

C) に示すように、第1層の上層605(a)と第2電極の下層606(b)との一部が共有されたような状態で接合層領域613が形成される。

【0017】

以上のような反応が進行していると考えられる理由は、以下の通りである。第1電極の熱処理合金工程を経ることで、図6(A)のように第1電極の、酸素が吸着もしくは配位された状態の白金族元素と酸素とは、一時的には安定ではあるが、何らかの外力が加わることで容易に切断される程度の弱い結合によって結合されているとも考えられる。このような一時的な弱い結合は、例えば第2電極をスパッタ法等によって形成すると、加速された白金族元素原料が第1電極の表面(上層の表面)に達した時の衝撃によって、容易に切断することができる。スパッタのような機械的な力による以外にも、例えば加熱する等によっても酸素との結合を切断させることができる。

【0018】

白金族元素との結合が切断されて配位(吸着)していた酸素が除去されると、第1電極表面に存在する白金族元素が不安定な状態(活性な状態)となっていると考えられる。そのため、第1電極と第2電極との界面が、破壊若しくは消失した状態で第2電極の初期体積領域が形成され、両者が混在した接合層領域613を形成し易くなる。すなわち、熱処理された第1電極と、その上に堆積される第2電極との間に、明確な不連続面(界面)が存在せず、あたかも連続形成されたような状態となる。第1電極の表面に安定な酸化物が形成されていると、例えその内部に酸化物が形成されていない場合でも、表面の酸化物の結合をスパッタで切断するのは困難であるが、単に配位されただけの酸素であれば結合の切断が容易であるので、第1電極の上層の白金族元素と、第2電極の下層の白金族元素とを、酸素を介在しない状態、又は、薄い表層部の酸素含有領域が成膜(堆積)時の衝撃によって消失もしくは離散された状態で、白金族元素同士を結合させることができる。

【0019】

更に、第1電極の上層が上記材料であると、内部が延性・展性を有しているため、加速された原料が第1電極上層の内部にまで入り込み易くなる。このような

結合が可能となるのは、熱処理を行ってもその表面に酸化物を形成しにくく、かつ、延性を有する材料である白金族元素及び白金族元素の同族の合金からなる材料が、第1電極の上層に形成されていることによる。

#### 【0020】

金属元素の中で最大の展性を有するAuを第1電極に用いる場合、Au単独では窒化物半導体とのオーミック接触の確立が困難になるため、Au以外の金属元素を下層に有しその上層にAuを用いるができる。しかし、Auを第1電極の上層に用いる場合、電極熱処理時に極めて拡散しやすいため、下層に用いられる他の元素との合金化反応が、外部から酸素等をも取り込みつつ層内全体で進行しやすい。そのため、成膜時に最上層であったAuが層内部に移動し、その結果、最上層のAuが減少する、又は下層に用いられていたAu以外の金属が表出して、酸化物を生成し易くなる。このように、Auを表層（上層）に含む第1電極は、第1電極熱処理後における第2電極との界面に絶縁性の酸化物膜などが介在して電氣的な障壁が大きくなり第2電極との密着性が低下する。また、動作特性も不安定となる。本発明のように、第1電極上層を白金族元素からなる層とすることで、低抵抗な電極とすることができる。

#### 【0021】

第1電極の上層に、白金族元素の同族以外の合金、例えば、Pt-Ir合金等のPt以外の白金族元素とPtとの合金である場合は、表面に配位している酸素をスパッタによって除去して、界面に酸素が存在しにくい状態で第2電極の下層の白金族元素と結合させることができる。ただし、この合金は硬く、延性が少ないため、加速された原料が合金内部にまで入り込みにくくなるので、接合層領域の厚さがほとんどない。そのため、展性に富む材料を用いる場合に比べて、やや結合が弱くなる（結合層領域が小さくなる）ことが考えられる。しかし、このような合金を、延性を考慮しない第2電極の下層として異種原料を同時にスパッタするなどして形成させる場合には何ら問題はなく、第1電極の上層と好ましい密着性を実現する。

#### 【0022】

また、白金族単一層、或いは、上記白金族元素からなる合金化層以外で、Rh

酸化物、Pd酸化物、Ru酸化物など、白金族元素と酸素との化合物であって、導電性を有する酸化物を第1電極の上層として用いることもできる。これら白金族元素と酸素との化合物は酸化物ではあるが、第1電極の上層に用いることで、低抵抗で、かつ第2電極との密着性に優れた第1電極を形成することができる。白金族元素と酸素との化合物は、上記の単一白金族元素層や、白金族元素の合金層のように、その表面にのみ酸化物（結合の弱い酸化物）が形成、或いは、酸素が配位（吸着）された状態に比して、酸素との結合強度は大きい。そのため、白金族元素の酸化物を用いる場合は、白金族元素単一層、或いは白金族元素の合金で接合領域を形成させることで、低抵抗で優れた密着性を実現できるという上記の機構ではなく、別の機構が成り立つと推測される。

### 【0023】

白金族元素の酸化物を第1電極の上層として形成し、その後、熱処理合金化処理を行うと、層内部で熱反応が生じる。第1電極の下層とは、単一白金族元素層の場合と同様に、安定な界面を保つと考えられる。異なるのは、外気と接している第1電極上層表面近傍であって、単一白金族元素の場合は、酸素が一時的に吸着することで擬似的に安定な状態となるが、白金族元素と酸素との化合物の場合は、その表面近傍領域と、表面から離間する領域（層内部領域）とにおいて、酸素と白金族元素との比率が一定ではなくなり、第1電極の表面からの深さによって組成傾斜するように内部変化が生じているものと考えられる。熱処理時の外気条件によって、表面近傍の組成が白金族元素リッチ層、或いは酸素リッチ層となるよう組成傾斜し、成膜時に安定であった組成比が崩壊することで活性化された第1電極表面が、第2電極の下層の白金族元素と結合することで実質的に明確な界面が形成されない状態となって低抵抗な電極が実現されるものと考えられる。これは、酸化物が導電性を有する白金族元素特有に見られるもので、触媒作用等にも起因すると思われる。

### 【0024】

何れにせよ、第1電極の上層が、熱処理後に活性化されている、或いは、準活性化されていることで、第2電極の下層形成時に、その表面の活性種と強固に接合して、界面準位がほとんど存在しないような、或いは、界面の準位が緩やかな

傾斜を有するような接合層領域を形成することができる。このような結合は、主としてそれ自体が酸化物を形成しにくい白金族元素、或いは、酸化物が形成されても導電性を保持可能な白金族元素からなる材料を、第1電極と第2電極との界面（接触面）にそれぞれ設けて上記のような接合層領域を形成することによって、極めて低抵抗で、信頼性に優れた電極構造を実現することができる。

#### 【0025】

本発明の請求項5に記載の窒化物半導体素子は、第2電極の下層は、単一の白金族元素からなる白金族単一層、又は、白金族元素の合金層からなることを特徴とする。ここでは、白金族元素は、合金化層（熱処理されて合金となっている層）ではなく、成膜時に2種以上の白金族元素を用いた混合層（合金層）である。熱処理された第1電極の上に堆積される第2電極の下層は、堆積初期（成膜初期）の段階において、第1電極の表面に、熱処理によって生成される反応生成物、或いは、第2電極形成のための成膜装置内に残存する不純物等の影響を受けやすい。

#### 【0026】

動作領域を左右する第1電極と第2電極とを、装置間移動を伴わないようにして連続形成させることができれば、装置間移動に伴う不連続界面の形成を抑制することができる。しかし、オーミック接触させるため、また、素子の信頼性を向上させるために熱処理工程を必要とする第1電極とに対し、引き出し用の電極として用いるために、非熱処理、或いは、第1電極の熱処理条件よりも穏やかな条件での熱処理を行う第2電極は、その目的も異なるために形状も異なる場合が多いため、別工程で形成させるのが好ましい。そのため、装置間移動後の成膜の初期段階で形成される第2電極の下層を、上記のような白金族単一層、或いは、白金族元素の合金層とすることで、第1電極表面に付着している不純物、或いは反応生成物、更には第2電極の成膜装置内に残っている酸素などの残留成分と反応しにくく、第1電極との界面の高抵抗化を抑制することができる。

#### 【0027】

第2電極の下層として、上記以外の材料、例えばTiを用い、第1電極の上層にPtを用いると、第1電極と密着性よく接合させることができる。しかしなが

ら、Tiが酸素と結合し易いため、第1電極の表面に配位（吸着）していた酸素と反応して成膜初期において直ちに酸化物を形成する。したがって、第1電極と第2電極との間に酸素（酸化物）が介在された状態となる。Tiの酸化物は絶縁性であるため、第2電極の下層として用いると、第1電極との界面が高抵抗となるので好ましくない。このように、単に密着性が良い材料（Tiなど）を選択すると、第2電極が剥がれることによる高抵抗化を抑制することは可能であるが、絶縁性の介在層を生成することによる高抵抗化までを抑制することはできない。

#### 【0028】

以上のように、第1電極の上層と、第2電極の下層を、上述のような白金族元素系材料からなる層とすることで、酸素の存在確率が極めて低い界面領域（接合層領域）、或いは、高抵抗化となる酸化物の存在しない接合層領域を形成することができる。このような、材料を、第1電極の上層、或いは第2電極の下層のいずれか一方に形成することでも、電極全体（第1電極と第2電極）の特性を向上させることはできるが、本発明のように、第1電極と第2電極との接合部に上記材料を配置させることで、極めて優れた電極とすることができる。特に、第1電極の上層と、第2電極の下層とを、同一の白金族元素の層とすることで、優れた密着性とすることができる。特に好ましくはPtであり、これによって動作電圧が低く、かつ、高出力駆動時においても経時変化が少なく、極めて信頼性に優れた素子を実現することができる。

#### 【0029】

本発明の請求項8に記載の窒化物半導体素子は、第1電極が設けられた半導体層表面は、電極形成領域と絶縁膜形成領域とを有し、第2電極は、電極形成領域から絶縁膜形成領域とを被覆することを特徴とする。第1電極は半導体層に接して形成され、その接した部分が導通経路を構成する。LDにおいては、導波路領域に効率よく電流を注入させるために、また、LEDにおいても、発光層に広く有効に電流を注入させるために、電流の導通経路を制御する。このような場合、第1電極の形成領域を制御するのではなく、半導体層表面に絶縁膜を形成して非導通領域を形成して第1電極を形成することで、容易に導通経路を制御できる。そして、第1電極と接合するように形成される第2電極を、上記のような絶縁膜



形成領域と、電極形成領域との両方を被覆するように形成させることで、第1電極に効率よく電流が流れるよう制御することができる。

#### 【0030】

本発明の請求項9に記載の窒化物半導体素子は、絶縁膜形成領域は、ストライプ状の前記電極形成領域を挟む複数の領域、又は、電極形成領域に分離された複数の領域であることを特徴とする。図1に示すようなLDでは、ストライプ状の電極形成領域の両側に絶縁膜が形成され、その両方の領域を被覆するように第2電極が形成されている。これにより、半導体層への電流経路を、所望の位置に安定に形成させることができる。また、LEDにおいても、格子状、或いは線状などの第1電極を有する場合は、その第1電極形成領域に挟まれた半導体層露出面に絶縁膜を形成することで、絶縁膜形成領域が電極形成領域によって複数の領域に分離されているような形態とすることができる。このように、絶縁膜領域を分離させることで、光の取り出し効率を向上させることができる。

#### 【0031】

本発明の請求項10に記載の窒化物半導体素子は、凸部からなるリッジを備えたレーザ素子であり、第1電極は、リッジ上面に接して形成されていることを特徴とする。LDのリッジは、その直下に導波路領域（動作領域）が形成される重要な部分である。そして、幅の小さいこのリッジには素子駆動時に大電流が流れる。そのため、この領域に形成される電極を、本発明の構成を有する電極を形成させることで、極めて信頼性に優れたLD素子とすることができる。

#### 【0032】

本発明の請求項11に記載の窒化物半導体素子は、リッジの両側面及びその側面から連続する半導体層の平面上に第1の絶縁膜を有すると共に、第1の絶縁膜上から半導体層の側面にかけて連続する第2の絶縁膜を有してなり、第1電極は、第2の絶縁膜と離間するよう形成されていることを特徴とする。

#### 【0033】

図7（A）は、半導体層にリッジが形成され、そのリッジ側面とリッジ両脇に第1の絶縁膜709が設けられ、リッジ上部と第1の絶縁膜上部とを被覆するように第1電極が形成されていることを示す模式図である。第1電極の下層が、N

i/Auなどの熱処理によって合金化される金属膜の積層構造で形成されている場合、熱処理によってその層構成が変化する。その際、下層の内部だけでなく、下層と半導体層との界面、及び下層と上層（白金族元素層）との界面においても反応が進行し、活性な界面領域が形成される。ここで、上層が白金族元素からなる層であるため、その触媒作用によって、系外への酸素の移動を上層と下層との界面付近で行うことができる。これにより、下層内部の反応や、下層と半導体層との反応に関与する酸素（外気）を適正な量に制御して、上層と下層との界面（太線で示す）を安定にすることができる。このように、表面に形成される白金族元素の層（上層）は、熱処理時に下層の合金化を安定に行うためのキャップ層として作用する。

#### 【0034】

また、第1電極下層の構成元素が上層の白金族元素の層を通り越して第1電極の表面に移動することがないので、表面を安定な状態で維持できる。そのため、第1電極表面に、下層の構成元素に基づく絶縁性の酸化物が形成されることがなく、第2電極との間に、接合層領域713が形成されて、密着性を良好なものとすることができる。

#### 【0035】

本発明の請求項12に記載の窒化物半導体素子は、第1の絶縁膜及び／又は第2の絶縁膜は、単層又は多層構造の密着層で被覆されていることを特徴とする。電極は、半導体層に電流を注入させるために、半導体層に接するよう形成されるものであるが、その注入領域を制限する、或いは短絡を防止する等の目的で半導体層上に形成される絶縁膜上にも接するよう形成されている。電極材料は、絶縁膜との密着性が必ずしもよいとは言えない。そのため、第1電極と第2電極の密着性に問題はなくとも、絶縁膜とも密着性が悪いために剥がれやすくなり、それによって高抵抗化するなど素子特性の悪化を招く場合がある。そのような場合に、電極と絶縁層との密着性を補強するための補強層（密着層）を設けることで、第2電極の剥がれを抑制し、素子特性の劣化を抑制することができる。

#### 【0036】

本発明の請求項13に記載の窒化物半導体素子は、密着層の最上層が、白金族

元素を含む層であることを特徴とする。白金族元素からなる上層を上面とすることで第2電極との密着性に優れた電極とすることができる。しかしながら、絶縁膜との密着性は必ずしも良くない場合もあり、特に、酸化物系の絶縁膜とは密着性が低く、剥がれやすいという性質を有する。これに対し、電極材料としては不向きであるが、絶縁膜との密着性の高い金属材料もある。図7(C)は、多層構造の密着層が形成されていることを示す模式図である。本発明では、絶縁膜との密着性に優れた材料(金属材料)を下層とし白金族元素を上層とする密着層711で第1の絶縁膜709及び第2の絶縁膜710を被覆することで、第2電極の形成面を、絶縁膜の占有領域が少ない面とすることができ、第2電極の密着性を補強することができる。特に、図7(C)のように第1及び第2の絶縁膜の両方を密着層で被覆することで、第2電極の形成領域W2を、第1電極705と接する領域W1と、密着層711と接する領域W3とを合わせた全てが白金族元素からなる領域とすることができる。すなわち、第2電極の形成界面が、全てが金属結合で形成されることになり、広い領域に渡って接合層領域を形成させることができるので、極めて優れた密着性を実現することができる。

#### 【0037】

本発明の請求項14に記載の窒化物半導体素子は、密着層の最上層が、第1電極の上層と同一元素又は同一材料からなることを特徴とする。このような構成とすることで、第1電極上層と密着層の最上層との上に接して形成される第2電極下層との接触界面に、高抵抗領域を形成しにくくすることができ、しかも、同一材料であることで密着性に優れた電極構造とすることができる。

#### 【0038】

本発明の請求項15に記載の窒化物半導体素子は、密着層の上層がPtであることを特徴とする。これにより、第2電極との密着性に優れた電極構造とすることができる。

#### 【0039】

本発明の請求項16に記載の窒化物半導体素子は、密着層が第1電極の上又は下に接して形成されていることを特徴とする。密着層は、第1の絶縁膜及び／又は第2の絶縁膜を被覆するものであるが、第2電極の形成時に、酸化物等からな

る絶縁膜が露出しないようにするのが好ましい。そのため、上層の白金族元素の層を有する密着層を形成することで、第2電極を、より強固に密着させることができる。図3では、第1電極の上に密着層が形成されているが、第1電極よりも先に密着層を形成する場合は第1電極の下に密着層が形成される形態となる。この密着層は、半導体層への電流注入には関与しない層として形成するので、例えばLDのリッジ近傍に形成して、光学特性を制御する層として機能させることができる。特に、密着層の下層として、絶縁膜との密着性に優れたTiを形成させ、この層をリッジ近傍に形成させることで、光吸収領域として機能させて、光の閉じ込めを制御することも可能である。

#### 【0040】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明について説明するが、本発明の窒化物半導体素子は、実施の形態に示された素子構造に限定されるものではない。

#### 【0041】

本発明の窒化物半導体素子は、半導体層上に設けられ、主として半導体層とオーミック接触させるための第1電極と、主として取りだし用の電極として用いる第2電極とを界面を特定の構成とすることで、密着性に優れ、且つ、界面での抵抗が低く、動作特性が極めて安定な電極構造とするものである。

#### 【0042】

第1電極と第2電極とはその機能が異なるため、それぞれの大きさ（幅・長さ）や形状は、目的に応じて、或いは工程等を考慮して好ましい形状とすることができる。第1電極と第2電極は、動作部において接するように形成されていればよく、それぞれの全面において接続されていなくてもよい。LEDの場合は、発光層の広い領域に電流を均一に流せるように、膜厚及び形状等を考慮して第1電極と第2電極とを形成させる。また、第1電極と第2電極の接合部は、p側電極とn側電極との配置にも考慮して、発光層への有効な電流注入ができるようにするのが好ましい。LDの場合は第1電極と第2電極とがリッジ上部で接合されるようにすることで、界面抵抗による動作電圧上昇を抑制することができる。第1電極よりも後工程で設けられる第2電極は、その底面全面と第1電極とが接する

ように形成してもよく、或いは、その一部が第1電極の上に形成され、他の部分が半導体層上若しくは絶縁膜上に接するように設けてもよい。

#### 【0043】

LDでは、半導体層に形成されるリッジのストライプ方向においては、第1電極はストライプ状の導波路領域と平行になるようストライプ状に形成するのが好ましいが、これに限られるものではない。すなわち、第1電極の形状がストライプ状でなくても、半導体層との接触領域がストライプとなるように形成されていればよい。また、ストライプと平行な方向の導波路領域の全領域に渡るように設けるのが好ましいが、電極形成時のフォトリソ工程や、後工程でのチップ化工程等を考慮して、端部から離間するようにするなど、好ましい大きさ及び形状を選択することができる。

#### 【0044】

第1電極と第2電極との接続領域は、導波路領域の全領域に相当する領域で接続させることで、動作電圧を安定にすることができ好ましいが、第2電極を第1電極よりも短くして、第2電極は分割領域上部に形成しないようにするのが好ましい。これは、第2電極の、特に最上層に形成される金属がAuである場合、その延性のために分割が非常に困難となるためである。また、リッジ上部を接続部とすることで、第2電極に注入された電流を、第1電流を介して効率よく半導体層に流すことができるので、導波路領域への光の閉じ込めを安定にしてレーザ光のビーム形状を良好に維持することができ、閾値が安定になると共に、動作電圧も安定にすることができる。

#### 【0045】

リッジと垂直な方向においては、第1電極は、リッジ上部に形成されているのが必要である。また、第1電極は、リッジから遠く離間する領域にまで形成しなくてもよく、リッジの幅と同一、或いは、それよりも大きい幅で形成させる。また、リッジの左右で同一長さとなるように形成するのが好ましい。また、ストライプ（共振器）の全領域に渡って、同一幅で形成するのが好ましい。

#### 【0046】

また、リッジと垂直な方向における第1電極と第2電極の接合層領域は、リッ

ジ幅と同一か、或いはそれよりも広い幅に形成させるのが好ましく、これにより動作電圧を安定化できる。リッジ幅よりも狭い範囲で接続させると、電流注入領域が狭くなって動作電圧が上昇する場合があるので好ましくない。特に、リッジ上部に接合面を形成するのが好ましい。第2電極は、ワイヤボンディングのために、リッジ上部以外の領域にワイヤを接合可能な程度の幅を有するようにする。この領域は、ストライプの全領域のうちの一部のみでよいので、第2電極の幅は、ストライプの全領域に渡って同一でなくてもよい。

#### 【0047】

図7(A)に示すように、第2電極の形成領域(幅)W2は、第1電極の形成領域W1よりも大きくするのが好ましく、この場合は、第2の絶縁膜710によって、絶縁性に優れた素子とすることができるので、高出力時の信頼性に優れた素子とすることができる。又、第2電極の形成領域(幅)W2を、第1電極の形成領域W1よりも小さくすることで、電極の周囲に絶縁膜露出面を形成することができる。この露出された絶縁膜領域によって、フェイスダウン時に第2電極の熱に伴う形状変化を原因とする短絡を低減し、歩留まりよく素子を得ることができる。

#### 【0048】

本発明の電極の構成は、窒化物半導体素子のp側電極とn側電極の両方に設けても良く、どちらか一方でもよいが、LDにおいては、特に、p側電極に設けるのが好ましい。その中でも、リッジを有するLDに極めて有効である。また、両方の電極に用いる場合は、p側電極とn側電極のそれぞれの第1電極と第2電極の接合部の白金族元素は、同一でもよく、また、異なってもよい。好ましくは、p側n側の両方の接合面において、Ptを用いることで、これにより、極めて優れた密着性を実現でき、また、p側電極とn側電極の第2電極を同一材料で形成して、両電極の第2電極を同時に形成することができ、工程上においても有利である。

#### 【0049】

第1電極は熱処理によって良好なオーミック性を実現できる。熱処理温度としては、350℃～1200℃の温度範囲とするのが好ましく、更に好ましくは4

00℃～750℃で、特に好ましくは450℃～600℃である。

#### 【0050】

第1電極の上層は、白金族元素からなる層で挟持される中間層を有していてもよい。第1電極の上層が白金族元素の単一元素、或いは白金族元素の同一族元素の合金の層が1層である場合は、その層の上面と下面とでそれぞれ別の機能を有している。上面は、外気との反応が起こしにくく、第2電極との密着性を良好にするものである。また、下層はその下に形成されている合金化層との安定な界面を形成し、合金化反応を安定にするものである。この2つの機能は、分離させることもできる。例えば、半導体層の上に、Ni/Auからなる下層と、Pt/Ti/Ptからなる上層とからなる第1電極とする。上層は、上面と下面とに白金族元素の単一元素層があり、その層で、Ti（白金族元素以外の元素からなる層）からなる中間層を挟んだ形態とすることもできる。これにより、第1電極の下層と接している下側の白金族元素層によって第1層の熱変質や熱処理工程のバラツキを低減して、信頼性に優れた素子とすることができ、また、中間層の上に設けられる上側の白金族元素層によって、酸素の介在確率の極めてすくない界面を第2電極との間に形成し、低抵抗な電極構造とすることができ、このように、白金族元素の層を上層と下層に分離し、機能を分離させることができる。

#### 【0051】

また、第1電極の上層の中間層は、白金族元素からなる上層の上面と下面との界面に最適な材料を配して機能分離する、という機能の他に、白金族元素系の層だけでは十分ではない特性を補う層として機能させることができる。例えば、中間層を介在させることで第1電極の膜厚を厚くして放熱性を向上させることができる。また、3層以上の多層膜として、単一組成の層で膜厚を厚くする場合に比べて応力を緩和させることもできる。特に、LDのリッジに形成される第1電極は、極めて幅の狭い領域に形成され、しかも、その膜質によりリッジにかかる負荷が大きく左右されるので、多層構造としてリッジにかかる応力を緩和することで信頼性に優れたLD特性を得ることができる。また、光吸収係数を変化させることができるので、光学特性を制御することもできる。

#### 【0052】

上記のように、第1電極の上層と第2電極の下層とが、共に白金族元素であることで、優れた密着性を有する接合層領域を形成させることができる。このような場合の第1電極の下層、或いは第2電極の上層の電極材料としては、以下の材料を用いることができる。また、下記の材料は、第1電極の上層と第2電極の下層とを同一元素、又は同一材料とする場合の、第1電極の上層及び第2電極の下層として用いることができる。

#### 【0053】

n型窒化物半導体層に設けられる第1電極（第1電極の下層）としては、n型窒化物半導体層とオーミック性及び密着性が高い材料を選択することができ、具体的には、Ni、Co、Fe、Ti、Cu、Au、W、Zr、Mo、Ta、Al、Ag、Pt、Pd、Rh、Ir、Ru、Os等があげられ、これらの単層、合金、或いは多層膜を用いることができる。好ましくは、Ti、Alを順に積層した多層構造である。第1電極形成後は、半導体層とのオーミック性を良くするために、材料によっては熱処理を行うことが好ましい場合がある。また、n側の第1電極の膜厚としては、総膜厚として100 Å～3000 Å程度が好ましく、更に300 Å～1500 Å程度が好ましく、特に好ましくは500 Å～1000 Åである。この範囲内で形成することで、接触抵抗の低い電極とすることができるので好ましい。

#### 【0054】

また、n側の第1電極に接して形成されるn側の第2電極（第2電極の上層）の電極材料としては、Ni、Co、Fe、Ti、Cu、Au、W、Zr、Mo、Ta、Al、Ag、Pt、Pd、Rh、Ir、Ru、Os等があげられ、これらの単層、合金、或いは多層膜を用いることができる。好ましくは多層膜とし、最上層はワイヤ等を接続させるのでAuを用いるのが好ましい。そして、このAuが拡散しないようにその下層には拡散防止層として機能する比較的高融点の材料を用いるのが好ましい。例えば、Ti、Pt、W、Mo、TiN等が挙げられる。膜厚としては、総膜厚として300 Å～2000 Åが好ましく、更に好ましくは700 Å～1300 Åの範囲である。

#### 【0055】



n側電極は、上記のように第1電極と第2電極とを別工程で設けるのではなく、連続して形成して第1電極と第2電極との両方の機能を兼ねる、すなわち、半導体層とオーミック接触するオーミック電極で、且つ、ワイヤを形成させる取り出し電極（パッド電極）とを兼用するn電極とすることもできる。これは、p側電極に比してn型半導体層とのオーミック接触が比較的容易であり、しかも、導波路領域からやや離間する領域であるため、光学特性をあまり考慮する必要がないため材料の自由度が大きいためである。このようなn電極の膜厚としては、総膜厚として $3000\text{ \AA} \sim 20000\text{ \AA}$ が好ましく、更に好ましくは $7000\text{ \AA} \sim 13000\text{ \AA}$ の範囲である。n側電極を、第1電極と第2電極とに分離しない場合は、p側電極に本発明の構成を適用させる。

#### 【0056】

次に、p型窒化物半導体層に設けられるp側の第1電極（第1電極の下層）の電極材料としては、p型窒化物半導体層とオーミック性及び密着性が高い材料を選択することができ、具体的には、Ni、Co、Fe、Cr、Al、Cu、Au、W、Mo、Ta、Ag、Pt、Pd、Rh、Ir、Ru、Os及びこれらの酸化物、窒化物等があげられ、これらの単層、合金、或いは多層膜を用いることができる。好ましくは、Ni、Co、Fe、Cu、Au、Alから選択される少なくとも1種、及びこれらの酸化物、窒化物等である。

#### 【0057】

また、p側の第2電極（第2電極の上層）の電極材料としては、Ni、Co、Fe、Ti、Cu、Au、W、Zr、Mo、Ta、Ag、Pt、Pd、Rh、Ir、Ru、Os及びこれらの酸化物、窒化物等があげられ、これらの単層、合金、或いは多層膜を用いることができる。最上層はワイヤ等を接続させるのでAuを用いるのが好ましい。そして、このAuが拡散しないようにその下層には拡散防止層として機能する比較的高融点の材料を用いるのが好ましい。例えば、Ti、Pt、W、Ta、Mo、TiN等が挙げられ、特に好ましい材料としてはTiが挙げられる。膜厚としては、総膜厚として $3000\text{ \AA} \sim 20000\text{ \AA}$ が好ましく、更に好ましくは $7000\text{ \AA} \sim 13000\text{ \AA}$ の範囲である。

#### 【0058】

第1電極の上層は、白金族元素からなる層で挟持される中間層を有することもできる。中間層は、単一の元素からなる層でもよく、或いは多層膜や合金であってもよい。また、中間層を挟持する上側の層と下側の層とは、共に白金族元素の層からなっていればよいので、同一の白金族元素であっても、異なる白金族元素であっても構わない。それぞれ、第1層との密着性や、中間層との密着性、或いは、合金化処理後、第2層の上に設ける取り出し電極との密着性等を考慮して材料を選択することができる。或いは、第1電極をマスクとしてエッチングするセルフアライメント方式でメサ部（リッジ）を形成する場合は、その最上層の白金族元素をエッチングガスの種類等も考慮に入れて材料を選択するのが好ましい。

#### 【0059】

第1電極の上層の中間層は、上下を安定な白金族元素層で挟まれているため、第1電極の下層に用いた合金化層の材料も用いることができる。第1電極の下層と同一の材料でもよく、また、異なる材料であっても構わない。或いは、第1層として用いることができない材料を用いることもできる。また、中間層として好ましい材料としては、上記に挙げた第1層の好ましい材料（Ni、Co、Fe、Cu、Au、W、Mo、Ti、Ta、Ag、Al、Cr、Pt、Pd、Rh、Ir、Ru、Os、及びこれらの酸化物、窒化物等）の他に、Hf等を用いることができる。

#### 【0060】

##### 実施の形態1

図1は、本発明の実施の形態1に係る窒化物半導体素子の構成を表すものであって、基板101上に、n型窒化物半導体層102、活性層104、p型窒化物半導体層103が積層され、p型窒化物半導体層にストライプ状のリッジが設けられた半導体レーザ（LD）である。リッジは、p型窒化物半導体層の一部をエッチング等の手段により除去することで形成することができ、これにより実効屈折率型の導波路を形成することができる。また、リッジとして、p型窒化物半導体層からn型窒化物半導体層までの一部をエッチングすることで形成して、完全屈折率型の導波路としてもよく、又は、選択成長によりリッジを形成してもよい。リッジは、底面側の幅が広く上面に近づくに従ってストライプ幅が小さくなる

順メサ形状に限らず、逆にリッジ底面に近づくにつれてストライプの幅が小さくなる逆メサ形状でもよく、また、積層面に垂直な側面を有するストライプであってもよく、これらが組み合わされた形状でもよい。また、ストライプ状の導波路は、その幅がほぼ同じである必要はない。また、このようなリッジを形成した後にリッジ表面やリッジ両脇に半導体層を再成長させた埋め込み型のレーザ素子であってもよい。また、リッジを有しない利得導波型の導波路としてもよい。

#### 【0061】

リッジの側面及びそのリッジから連続する p 型窒化物半導体層の上面にかけて第 1 の絶縁膜 109 が形成されている。リッジ上面及び第 1 の絶縁膜の上面には p 側の第 1 電極 105 が、また、n 型窒化物半導体層の上面には n 側の第 1 電極 107 が設けられている。n 側の第 1 電極の上部に開口部を有する第 2 の絶縁膜 110 が、第 1 の絶縁膜の上部にまで連続するよう設けられている。p 型窒化物半導体層の上部には、第 2 の絶縁膜及び p 側の第 1 電極と接する p 側の第 2 電極 106 が設けられている。また、n 側の第 1 電極上にも n 側の第 2 電極 108 が設けられている。

#### 【0062】

また、上記リッジのストライプ方向を共振器方向とするために、端面に設けられている一対の共振器面は、劈開又はエッチング等によって形成することができる。劈開で形成させる場合は、基板や半導体層が劈開性を有していることが必要であり、その劈開性を利用すると優れた鏡面を容易に得ることができる。また、劈開性がなくても、エッチングによって共振器面を形成させることができ、この場合は n 電極形成面を露出させる際に同時に行うことで、少ない工程で得ることができる。また、リッジ形成と同時に形成することもできる。このように各工程と同時に形成させることで工程を少なくすることができるが、より優れた共振器面を得るためには、別工程を設けるのがよい。また、このように劈開やエッチングによって形成した共振器面は、活性層の発光波長を効率良く反射させるために、単一膜又は多層膜からなる反射膜を形成させることもできる。共振器面の一方は比較的高反射率の面からなり主として光を導波路領域内に反射する光反射側共振器面として、もう一方は比較的低反射率の面からなり主として外部に光を出射

する光出射側共振器面として機能している。

### 【0063】

実施の形態1では、第2の絶縁膜110とp側の第1電極105とが離間するように設けられている。p側の第1電極の形成領域は、p型窒化物半導体層の上面を広い範囲に渡って覆うように形成することができる。このとき、第1の絶縁膜と、p側の第1電極との密着性が良好であれば問題はないが、密着性が悪い場合は、p側の第1電極の形成領域を大きくすることで、剥がれやすくなるという問題が生じる場合がある。実施の形態1では、p側の第1電極の形成領域を、p型半導体層の端部より離間するように形成し、少なくともリッジ両脇近傍に設けている。これにより、全面に第1電極を形成させる場合に比して、第1の絶縁膜と接触領域を小さくし、第1の絶縁膜との密着性が弱い場合でも、剥がれにくくすることができる。また、第2の絶縁膜とp側の第1電極とが離間するように形成されているので、p側の第2電極と第1の絶縁膜とが接する構造となっている。また、p側電極とn側電極との短絡を防ぐために比較的厚い膜厚で形成されている第2の絶縁膜と、リッジとの間にやや深い凹部が形成されているようになるので、p側の第2電極の接合面は凹凸差の大きい面となる。この凹凸により、接合面積が大きくなって、第2電極を剥がれにくくすることができる。

### 【0064】

第1の絶縁膜は、電流の注入領域をリッジ上面に限定するために設けているものであるが、導波路領域に近接して設けられているため光の閉じ込め効率にも作用するものであるので、むやみに膜厚を厚く形成することもできない。用いる絶縁膜材料によっては、膜厚を薄くする必要がある。第1の絶縁膜を薄く形成する場合は、絶縁性がやや弱くなる部分が存在することもあるが、そのような場合でも、本実施の形態1のようにp側の第2電極と第1の絶縁膜との間の、第2の絶縁膜を比較的リッジに近い領域まで介在させることで、電流注入領域をリッジ近傍に制御することができる。

### 【0065】

第1の絶縁膜は、図1(a)のように、窒化物半導体層とほぼ同一幅となるように形成させることもできる。第1電極よりも前に形成される第1の絶縁膜は、

第1電極の熱処理時に、共に熱処理される。熱処理されることで、単に堆積された膜に比して膜の強度（膜内の原子レベルでの結合力）が増し、半導体層との界面における接合強度も向上する。そのような第1の絶縁膜を、特に第2の絶縁膜が形成される半導体層上面の端部にまで形成することで、第2の絶縁膜の密着性も向上させることができる。

#### 【0066】

また、第2電極は、図1（b）のように、第2の絶縁膜と接しないように形成することもできる。特に、フェイスダウンで用いる場合、第2電極に熱が加わるが、その際に、熱膨張によって体積が大きくなって素子の側面方向（p型半導体層の端方向）に流出し易くなる。また、熱だけでなく、圧力も加わるので、それによっても電極材料が側面方向に流出しやすくなる。そのため、図1（b）のように、第2絶縁膜と離間させるようにすることで、p側の第2電極材料が側面方向に流出して短絡が生じるのを防ぐことができる。

#### 【0067】

実施の形態1に限らず、以下の実施の形態においても、第1の絶縁膜の材料としてはSi、Ti、V、Zr、Nb、Hf、Taよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物、SiN、BN、SiC、AlN、AlGaInの内の少なくとも一種で形成することが望ましく、その中でもZr、Hf、Siの酸化物、BN、AlN、AlGaInを用いることが特に好ましい。

#### 【0068】

また、第1の絶縁膜の膜厚としては、具体的には、10 Å以上10000 Å以下の範囲、好ましくは100 Å以上5000 Å以下の範囲とすることである。なぜなら、10 Å以下であると、電極の形成時に、十分な絶縁性を確保することが困難で、10000 Å以上であると、かえって保護膜の均一性が失われ、良好な絶縁膜とならないからである。また、前記好ましい範囲にあることで、リッジ側面において、リッジとの間に良好な屈折率差を有する均一な膜が形成される。

#### 【0069】

第2の絶縁膜は、p側の第1電極の、リッジ上部を除く全面に設けることができ、エッチングによって露出されたp型半導体層及び活性層の側部端面にも連続

するように設けるのが好ましい。好ましい材料としては、Si、Ti、V、Zr、Nb、Hf、Taよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物、SiN、BN、SiC、AlN、AlGaInNの内少なくとも一種で形成することが望ましく、その中でも特に好ましい材料として、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZrO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>などの単層膜または多層膜を挙げることができる。

#### 【0070】

##### 実施の形態2

図2は、本発明の実施の形態2に係る窒化物半導体素子の構成を表すものである。本実施の形態2では、実施の形態1と同様に、基板201上に、n型窒化物半導体層202、活性層204、p型窒化物半導体層203が積層され、p型窒化物半導体層にストライプ状のリッジが設けられた半導体レーザ(LD)であって、p側の第1電極205は、第1の絶縁膜209上を広く覆う領域に形成され、その第1電極のリッジ以外から離間する領域の上の一部を被覆するよう第2の絶縁膜210が形成されている。そして、p側の第2電極206は、p側の第1電極と第2の絶縁膜との上に渡って形成されている。すなわち、本実施の形態2においては、p側の第2電極は第1の絶縁膜とは接しないように設けられている。リッジの深さ(高さ)や第1の絶縁膜の光学特性によって、導波路領域への光の閉じ込めは変化するが、第1の絶縁膜を厚くすることでそれらを制御可能な場合は、第1電極の形成領域を大きくし、広い範囲に渡って第2電極と密着させることで、熱が集中するのを抑制し、第1電極と第2電極との間の接合層領域を大きくして、密着性に優れた電極とすることができる。

#### 【0071】

また、この場合、図2(a)に示すように、第2電極206を第2の絶縁膜210と接しないようにすることもできる。これにより、絶縁膜との密着性の悪い第2電極が、第1電極のみと接することになるので、第2電極を剥がれにくくすることができる。また、実施の形態1でも述べたが、フェイスダウンで用いる場合に、加熱による第2電極変形時にn型半導体層側に流出するのを抑制して信頼性に優れた素子とすることができる。

#### 【0072】

### 実施の形態 3

図 3 は、本発明の実施の形態 3 に係る窒化物半導体素子を表すものである。実施の形態 3 は、実施の形態 1 と同様に、基板 301 上に、n 型窒化物半導体層 302、活性層 304、p 型窒化物半導体層 303 が積層され、p 型窒化物半導体層にストライプ状のリッジが設けられた半導体レーザ (LD) であって、p 側の第 2 電極 306 と、第 1 の絶縁膜 309 及び／又は第 2 の絶縁膜 310 との間に、密着層 311 が形成されている。この密着層は、p 側の第 1 電極 305 と第 2 電極 306 との接合領域であるリッジ上面及びその近傍には形成されないような位置に形成され、第 2 電極と第 1 及び／又は第 2 の絶縁膜との密着性を補強する機能を有するものである。

#### 【0073】

上述のように、電極材料及び絶縁膜材料は、それ自体が形成される材料との密着性に優れている必要があるだけでなく、その上に形成される材料との密着性にも優れている必要がある。そのため、上層と下層とで異なる材料を用いることで両者を満足することができるが、実施の形態 3 のように、更に密着層を設けることで、より優れた密着性を得ることができる。密着層は、図 3 では、p 側の第 1 電極と第 2 電極の間にその一部が介在されているが、第 1 電極とは接しないようにすることもできる。

#### 【0074】

密着層は、第 1 電極のように半導体層との接触抵抗が低く、かつ、半導体層との密着性に優れた材料を選択する必要はなく、第 1 電極や第 2 電極との界面抵抗を低下させる材料を選択する必要もない。また、第 1 及び第 2 の絶縁膜のように、電極との密着性に優れ、かつ、絶縁性の高い材料を選択する必要はない。すなわち、密着層は、導電性材料でもよく、又は絶縁性材料でもよく、求められる機能は、絶縁膜及び電極との密着性のみである。そのため、電極材料としては、抵抗が高い等の問題がある材料でも、絶縁膜との密着性に優れた材料であれば用いることができる。そして、多層構造として上層に p 側の第 2 電極との密着性に優れた材料を選択することで、密着性を補強することができる。

#### 【0075】

密着層は、単層又は多層構造とすることができる。多層構造とする場合は、密着層の下層には絶縁膜との密着性に優れた材料を、そして密着層の上層には第2電極の下層と密着性に優れた材料を選択することで、より優れた密着性を実現することができる。

#### 【0076】

また、密着層の好ましい材料としては、上述のように、導電性材料又は絶縁性材料等を用いることができるが、例えば、第1電極の上層がPt、第2電極の下層がRhであり、接合層領域が白金族元素で構成される場合には、密着層の上層をAuとするなど、白金族元素以外の材料を用いることもできる。或いは、第1電極の上層と、第2電極の下層との両方にPtを用いて、接触面を同一材料からなるように構成する場合にも、密着層の上層をAuとするなど、別材料を用いてもよい。特に好ましいのは、密着層の上層として白金族元素又は白金族元素の同一族の合金を用いる場合である。例えば、第1電極の上層がPt、第2電極の下層がRhであり、接合層領域が白金族元素で構成される場合に、密着層の上層もPtとして接合層領域を全て白金族元素で構成するのが好ましい。或いは、第1電極の上層と、第2電極の下層との両方にPtを用いて、接触面を同一材料からなるように構成する場合に、密着層の上層もPtを用いて、接触面を全て同一元素からなるように構成するのが好ましい。p側の第2電極は凹凸を有する同一材料の上に形成させることになるので、上記のような構成とすることで、極めて優れた密着性を実現することができる。白金族の中でも特にPtが好ましい。また、下層の好ましい材料としてはTiが挙げられる。

#### 【0077】

また、密着層は第2電極よりも大きく形成するのが好ましいが、図3(a)に示すように、密着層311と第2電極306とを略同一の大きさとしてもよい。また、図3(b)に示すように、密着層311が第2の絶縁膜310よりも下になるようにすることもできる。これにより、フェイスダウン時の短絡を防止することができる。

#### 【0078】

実施の形態4



図4は、本発明の実施の形態4に係る窒化物半導体素子の構成を表すものである。実施の形態4は、実施の形態1と同様に、基板401上に、n型窒化物半導体層402、活性層404、p型窒化物半導体層403が積層され、p型窒化物半導体層にストライプ状のリッジが設けられた半導体レーザ(LD)であって、p側の第1電極405と第1の絶縁膜409との間に、密着層411が形成されているものである。第1の電極よりも先に密着層を形成することで、このような形態とすることができる。この場合、半導体層により近い側に密着層が配されていることになるので、その形成位置によっては、導波路領域への光閉じ込めを制御することができる。第1電極の下層の材料を、例えば半導体層とのオーミック性を重視して選択する場合で、その材料が極端に光吸収係数大きいと光学特性を悪化させる場合があるが、密着層を第1電極よりも下に形成しておくことで、それらの悪影響を緩和させることができ、また、第1電極と第1の絶縁膜との密着性が悪い場合も、剥がれを低減させることができる。また、第1電極よりも先に形成されることになるので、密着層も熱処理が施されることになる。これにより、材料によっては、第1の絶縁膜との密着性も向上させることができる。

#### 【0079】

また、このような密着層が、第2の絶縁膜の上にまで連続するように形成されていることで、第2電極と第2の絶縁膜との剥がれによる素子特性低下を抑制することができる。また、図4(a)のように、密着層411を第1の絶縁膜409上に設けて、第2の絶縁膜410と第2電極406とが重なる部分がないように、或いは離間するように設ける。これにより、フェイスダウン時の短絡を防止できる。また、図4(b)のように、密着層411をリッジ側面の絶縁膜409の上にまで延在するように形成することもできる。これにより、より導波路領域に近い位置に密着層を配することができるので、迷光を吸収させるなどによってリップルを低減し、優れたFFPとすることができる。

#### 【0080】

#### 実施の形態5

図5は、本発明の実施の形態5に係る窒化物半導体素子の構成を表すものである。実施の形態5は、実施の形態1と同様に、基板501上に、n型窒化物半導

体層 502、活性層 504、p 型窒化物半導体層 503 が積層され、p 型窒化物半導体層にストライプ状のリッジが設けられた半導体レーザ (LD) であって、第 1 電極 505 が、リッジ上部のみに形成されているものである。幅の小さい LD のリッジ上幅と、ほぼ同一幅の第 1 電極を形成するには、平坦なウエハ上に所望のリッジ幅の第 1 電極 505 を形成し、その第 1 電極をマスクとして半導体層をエッチングすることで、リッジ上部に、リッジと同一幅の第 1 電極が形成される。このようなセルフアライメント方式を用いて半導体層をエッチングするには、主として塩素系のエッチングガスを用いてドライエッチングするのが好ましい。そして、このようなエッチングを行う際のマスクである第 1 電極の上層として白金族元素からなる層を用いることで、エッチング後においても表面が比較的荒れの少ない電極として機能させることができる。また、リッジ形成後に第 1 電極を形成する場合は、 $\text{SiO}_2$  やレジスト等で所望のリッジ幅のマスクを形成させ、半導体層をエッチング後にそれらマスクを除去し、その除去した部分で半導体層表面と接するような第 1 電極を形成させるため、半導体層表面にマスクが残存する場合がある。これらによって第 1 電極と半導体層とのオーミック接触性や密着性が低下する恐れがあるが、実施の形態 5 では、そのような問題が生じにくい。

#### 【0081】

図 5 のように、第 1 電極とリッジの幅が略一致した形である場合は、第 2 電極と第 1 電極との接合面が、リッジの幅という極めて限られた領域となる。そのため、第 1 電極の上層と第 2 電極の下層（金属層を介在させる場合は、金属層と第 1 電極との間、及び金属層と第 2 電極との間）とに、白金族元素からなる接合層領域を形成させることで、幅の狭い接合領域であっても、極めて優れた密着性で接合させることができ、しかも、界面抵抗の上昇を抑制して動作電圧が低く、動作特性が極めて安定で信頼性に優れた素子を実現することができる。

#### 【0082】

セルフアライメント方式を用いてリッジを形成する場合、第 1 電極の上面は、半導体層エッチング時の塩素系ガスや、 $\text{SiO}_2$  膜等のエッチング時のフッ素系ガス等に曝露される。そのため、酸化物ではなく、塩化物、或いはフッ化物等が

形成される。しかし、白金族元素の層は、これら塩素系ガスやフッ素系ガスと反応したとしても、その反応が表面近傍に限られる。従って、熱処理時等と同様に、層内部は成膜時と同様の組成で保持されやすい。塩素或いはフッ素との化合物が安定で、絶縁性を示すようであれば、第2電極との間で界面抵抗が生じるので、そのような場合は、表面を洗浄することで、層内部の化合物非生成領域を露出させ、その露出部に第2電極を形成させることで、オーミック性を損ないにくくすることができる。

#### 【0083】

また、n型半導体層を露出させる際にも、金属層をマスクとして用いることができる。図5に示す金属層512として白金族元素からなる層を、第1電極509上を含む領域の所望の形状に形成させ、n型半導体層が露出するまでエッチングを行う。金属層をマスクとして用いる場合は、その後に剥離することもできるが、図5のように、エッチング後も形成させたままとすることもできる。このように、金属層をエッチングマスクとして用い、その後、除去せずに電極の一部として用いる場合は、リッジ両脇に先に絶縁膜を形成しておき、その絶縁膜の上及びリッジ上面の第1電極を被覆するように金属層を形成しておくのが好ましい。これにより、図5のような構成とすることができる。このような場合は、第1の電極と接する金属層は、第2電極の一部と見ることができるので、第2電極の下層として好ましい材料である白金族元素からなる層を用いる。好ましくはPtである。

#### 【0084】

また、n型半導体層を露出させるためのエッチングを、金属層ではなく、SiO<sub>2</sub>等を用いることもできる。その場合は、n型半導体層露出後、SiO<sub>2</sub>を除去して、リッジ両脇に絶縁膜を形成し、更にリッジ上の第1電極と接するような第2電極を設ける。

#### 【0085】

また、図5(a)に示すように、第2電極506を、第2の絶縁膜510と接しないように形成させることで、フェイスダウン時の短絡を防止することができる。また、第2電極506が、金属層505のみと接するようにすることができ

るので、密着性に優れた電極構造とすることができる。

#### 【0086】

##### 実施の形態6

図8は、本発明の実施の形態6に係る窒化物半導体素子の構成を表すものである。図8(B)は、図8(A)のX-Y断面図であり、基板上801にn型半導体層802、活性層804、p型半導体層803が積層された窒化物半導体であって、p型半導体層の表面にp側の第1電極805と第2電極806が、また、p型半導体層側からエッチングにより露出されたn型半導体層の表面にn側の第1電極807と第2電極808がそれぞれ形成された窒化物半導体素子からなる発光ダイオード(LED)である。LEDのようにリッジが形成されておらず、活性層からの発光は、p型半導体層側、或いはn型半導体層側、更には、端面から外部に放出される。p型半導体層上面のほぼ全面にp側の第1電極が形成され、813で示す領域で第2電極と接合されている。第1電極は、活性層からの光が透過可能な膜厚に制御し、熱処理を行うことで半導体層とのオーミック接触が可能な透明電極とすることができる。

#### 【0087】

実施の形態6のようなLEDでは、透明電極である第1電極と、パッド電極である第2電極との接合領域が小さいため、導通時にはその接合領域に大電流が流れることになる。その接合領域を、密着性よく、しかも、低抵抗な状態で形成することで、信頼性に優れたLEDとすることができる。

#### 【0088】

また、LEDでは、図8の形態に限らず、p側の第1電極を、膜厚を厚くしてシート抵抗を低下させると共に、開口部を形成してその開口部から光を取り出すような形状の電極とすることもできる。或いは、p型半導体層表面に凹凸が形成され、その凹部内に絶縁膜が充填するなど、種々の形態に適用させることができる。

#### 【0089】

##### 【実施例】

以下、実施例として窒化物半導体を用いた半導体レーザ素子について説明する

が、本発明において、窒化物半導体層を構成する n 型窒化物半導体層、活性層、p 型窒化物半導体層のデバイス構造としては特に限定されず、種々の層構造を用いることができる。デバイスの構造としては、例えば後述の実施例に記載されているレーザのデバイス構造が挙げられるが、他のレーザ構造や、LED についても適用できる。窒化物半導体の具体的な例としては、GaN、AlN、若しくは InN などの窒化物半導体や、これらの混晶である III-V 族窒化物半導体、更には、これらに B、P 等が含まれるもの等を用いることができる。窒化物半導体の成長は、MOVPE、MOCVD（有機金属化学気相成長法）、HVPE（ハライド気相成長法）、MBE（分子線気相成長法）等、窒化物半導体を成長させるのに知られている全ての方法を適用できる。

#### 【0090】

##### [実施例 1]

##### (基板)

基板は、C 面を主面とするサファイア基板を用いる。基板としては特にこれに限定されるものではなく、必要に応じて R 面、A 面を主面とするサファイア基板、SiC 基板、Si 基板、スピネル基板、GaN 基板等種々の基板を用いることができる。

#### 【0091】

##### (下地層)

温度 1050℃でアンダーの GaN 層を 2.5 μm で成長させ、SiO<sub>2</sub> よりなる保護膜を 0.27 μm の膜厚で形成する。この SiO<sub>2</sub> 保護膜は、エッチングによりストライプ状の開口部（非マスク領域）を形成する。この保護膜は、ストライプ幅が 1.8 μm でオリフラ面と略垂直な方向になるよう形成し、保護膜と開口部との割合は、6:14 となるようにする。次いで、アンダーの GaN 層を 15 μm の膜厚で成長させる。このとき、開口部上に成長された GaN 層は、SiO<sub>2</sub> 上に横方向成長しており、最終的には SiO<sub>2</sub> 上方向で GaN が合わさるように成長されている。

#### 【0092】

##### (バッファ層)

次いで、温度を  $500^{\circ}\text{C}$  にしてトリメチルガリウム (TMG)、アンモニア ( $\text{NH}_3$ ) を用い、Si ドープの  $\text{Al}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$  よりなるバッファ層を  $1\mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。

#### 【0093】

(n 型コンタクト層)

続いて  $1050^{\circ}\text{C}$  で、同じく原料ガスに TMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Si ドープの  $\text{n-Al}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$  よりなる n 型コンタクト層を  $3.5\mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。この n 型コンタクト層の膜厚は  $2\sim 30\mu\text{m}$  であればよい。

#### 【0094】

(クラック防止層)

次に、TMG、TMI (トリメチルインジウム)、アンモニアを用い、温度を  $800^{\circ}\text{C}$  にして Si ドープの  $\text{n-In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  よりなるクラック防止層を  $0.15\mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。なお、このクラック防止層は省略可能である。

#### 【0095】

(n 型クラッド層)

次に、温度を  $1050^{\circ}\text{C}$  にして、原料ガスに TMA (トリメチルアルミニウム)、TMG 及びアンモニアを用い、アンドープの  $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.095}\text{N}$  よりなる A 層と、Si をドープした  $\text{GaN}$  よりなる B 層をそれぞれ  $50\text{\AA}$  の膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ 110 回繰り返して A 層と B 層を交互に積層して総膜厚  $1.1\mu\text{m}$  の多層膜 (超格子構造) よりなる n 型クラッド層を成長させる。この時、アンドープ  $\text{AlGaIn}$  の Al の混晶比としては、 $0.02$  以上  $0.3$  以下の範囲であれば、十分にクラッド層として機能する屈折率差を設けることができる。

#### 【0096】

(n 型光ガイド層)

次に、同様の温度で原料ガスに TMG 及びアンモニアを用い、アンドープの  $\text{GaIn}$  よりなる n 型光ガイド層を  $0.15\mu\text{m}$  の膜厚で成長させる。この層は、n

型不純物をドーピングさせてもよい。

#### 【0097】

(活性層)

次に、温度を800℃にして、原料にTMI（トリメチルインジウム）、TMG及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、SiドーピングのIn<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>Nよりなる障壁層を140Åの膜厚で成長させる。続いてシランガスを止め、アンドーピングのIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなる井戸層を70Åの膜厚で成長させる。この操作を2回繰り返し、最後にSiドーピングのIn<sub>0.02</sub>Ga<sub>0.98</sub>Nよりなる障壁層を140Åの膜厚で成長させて総膜厚560Åの多重量子井戸構造（MQW）の活性層を成長させる。

#### 【0098】

(p型電子閉じ込め層)

同様の温度で、N<sub>2</sub>雰囲気中で、MgドーピングのAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Nよりなるp型電子閉じ込め層を30Åの膜厚で成長させる。次いで、H<sub>2</sub>雰囲気中で、MgドーピングのAl<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>Nよりなるp型電子閉じ込め層を70Åの膜厚で成長させる。

#### 【0099】

(p型光ガイド層)

次に、温度を1050℃にして、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドーピングのGaNよりなるp型光ガイド層を0.15μmの膜厚で成長させる。このp型光ガイド層はアンドーピングとして成長させるが、Mgをドーピングさせてもよい。

#### 【0100】

(p型クラッド層)

続いて、アンドーピングのAl<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>NよりなるA層を80Åの膜厚で成長させ、その上にMgドーピングのGaNよりなるB層を80Åの膜厚で成長させる。これを28回繰り返してA層とB層とを交互に積層させて、総膜厚0.45μmの多層膜（超格子構造）よりなるp型クラッド層を成長させる。p型クラッド層は少なくとも一方がAlを含む窒化物半導体層を含み、互いにバンドギ

ギャップエネルギーが異なる窒化物半導体層を積層した超格子で作製した場合、不純物はいずれも一方の層に多くドーピングして、いわゆる変調ドーピングを行うと結晶性がよくなる傾向にあるが、両方に同じようにドーピングさせてもよい。

#### 【0101】

(p型コンタクト層)

最後に1050℃でp型クラッド層の上にMgドーピングのGaNよりなるp型コンタクト層を150Åの膜厚で成長させる。p型コンタクト層はp型の $\text{In}_x\text{Al}_{1-y}\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $x \leq 0$ 、 $y \leq 0$ 、 $x + y \leq 1$ )で構成することができ、好ましくはMgをドーピングしたGaNとすればp電極と最も好ましいオーミック接触が得られる。反応終了後、反応容器内において窒素雰囲気中でウエハを700℃でアニーリングして、p型層を更に低抵抗化する。

#### 【0102】

(n型層露出)

以上のようにして窒化物半導体を成長させて積層構造体を形成した後、ウエハを反応容器から取り出し、最上層のp型コンタクト層の表面に $\text{SiO}_2$ よりなる保護膜を形成してRIE(反応性イオンエッチング)を用いて $\text{Cl}_2$ ガスによりエッチングし、n電極を形成させるn型コンタクト層の表面を露出させる。また、このとき、エッチングにより共振器面を形成させてもよい。n型コンタクト層の露出と同時に行うのが好ましいが、別工程で行うこともできる。

#### 【0103】

(リッジ形成)

次に、ストライプ状の導波路領域を形成するために、最上層のp型コンタクト層のほぼ全面にCVD装置により、 $\text{Si}$ 酸化物(主として $\text{SiO}_2$ )よりなる保護膜を0.5μmの膜厚で形成した後、フォトリソグラフィ技術により保護膜の上に所定の形状のマスクを形成し、RIE装置により $\text{CHF}_3$ ガスを用いたエッチングによりストライプ状の $\text{Si}$ 酸化物からなる保護膜を形成する。この $\text{Si}$ 酸化物の保護膜をマスクとして $\text{SiCl}_4$ ガスを用いて半導体層をエッチングして、活性層よりも上にリッジストライプが形成される。このとき、リッジの幅は1.6μmとなるようにする。



## 【0104】

(第1の絶縁膜)

$\text{SiO}_2$  マスクを形成させた状態で、p 型半導体層表面に  $\text{ZrO}_2$  よりなる第1の絶縁膜を形成する。この第1の絶縁膜は、n 側の第1電極形成面をマスクして半導体層の全面に設けてもよい。また、後に分割され易いように絶縁膜を形成させない部分を設けることもできる。

## 【0105】

第1の絶縁膜形成後、ウエハを  $600^\circ\text{C}$  で熱処理する。このように、 $\text{SiO}_2$  以外の材料を第1の絶縁膜として形成する場合、第1の絶縁膜形成後に、 $300^\circ\text{C}$  以上、好ましくは  $400^\circ\text{C}$  以上、窒化物半導体の分解温度以下 ( $1200^\circ\text{C}$ ) で熱処理することにより、絶縁膜材料を安定化させることができる。特に、第1の絶縁膜形成後の工程において、主として  $\text{SiO}_2$  をマスクとして用いてデバイス加工を施すような場合は、その  $\text{SiO}_2$  マスクを後で除去する際に用いるマスク溶解材料に対して溶解しにくくすることができる。この第1の絶縁膜の熱処理工程は、第1の絶縁膜の材料や工程等によっては省略することもできるし、また、オーミック電極の熱処理と同時に行うなど、工程順序等についても適宜選択することができる。熱処理後、バッファード液に浸漬して、リッジストライプの上面に形成した  $\text{SiO}_2$  を溶解除去し、リフトオフ法により  $\text{SiO}_2$  と共に、p 型コンタクト層上 (更には n 型コンタクト層上) にある  $\text{ZrO}_2$  を除去する。これにより、リッジの上面は露出され、リッジの側面は  $\text{ZrO}_2$  で覆われた構造となる。

## 【0106】

(第1電極: オーミック電極)

次に、p 型コンタクト層上のリッジ最表面及び第1の絶縁膜上に p 側の第1電極をスパッタにより形成させる。この p 側の第1電極は、下層として  $\text{Ni}/\text{Au}$  ( $100\text{Å}/1500\text{Å}$ )、上層として  $\text{Pt}$  ( $1500\text{Å}$ ) を用いる。また、n 型コンタクト層上面にも n 側の第1電極を形成させる。n 側の第1電極は  $\text{Ti}/\text{Al}$  ( $200\text{Å}/8000\text{Å}$ ) からなり、リッジと平行で、かつ、同程度の長さのストライプ状に形成されている。これら電極形成後、酸素と窒素の混合雰囲気

中で、600℃で熱処理する。

#### 【0107】

(第2の絶縁膜)

次いで、リッジ上のp側の第1電極の全面と、n側の第1電極の上部の一部を覆うレジストを形成する。次いで、 $\text{SiO}_2$ からなる第2の絶縁膜を、ほぼ全面に形成し、リフトオフすることで、p側の第1電極の上面全面とn側の第1電極の一部が露出された第2の保護膜が形成される。第2の絶縁膜とp側の第1電極とは離間しており、その間に第1の絶縁膜が露出されている。第2の絶縁膜は、後の分割を考慮して、分割位置を挟んで幅10 $\mu\text{m}$ 程度のストライプ状の範囲には、第1及び第2の絶縁膜や電極を形成しないようにしておいてもよい。

#### 【0108】

第2の絶縁膜は、p側及びn側の第1電極上部を除く全面に渡るように設けるものである。好ましい材料としては、Si、Ti、V、Zr、Nb、Hf、Taよりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物、 $\text{SiN}$ 、 $\text{BN}$ 、 $\text{SiC}$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{AlGaIn}$ の内の少なくとも一種で形成することが望ましく、その中でも特に好ましい材料として、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ などの単層膜または多層膜を挙げることができる。

#### 【0109】

(第2電極：パッド電極)

次に、上記の第1電極を覆うように第2電極を形成する。このとき、第2の絶縁膜を覆うように形成させるのが好ましい。p側の第2電極は、下層がPt(1000Å)で、その上に、Ti/Pt/Au(50Å/1000Å/6000Å)の順に積層される。また、n側の第2電極は、下からNi/Ti/Au(1000Å/1000Å/8000Å)で形成される。この第2電極は、第2の絶縁膜を介してp側の第1電極及びn側の第1電極にそれぞれストライプ状に接している。

#### 【0110】

(劈開及び共振器面形成)

次いで、基板を研磨して約150 $\mu\text{m}$ の膜厚になるよう調整後、基板裏面にス

クライブ溝を形成し、窒化物半導体層側からブレーキングして、劈開することでバー状のレーザとする。窒化物半導体層の劈開面は、窒化物半導体のM面（11-00面）となっており、この面を共振器面とする。

#### 【0111】

（端面保護膜形成）

上記のように形成された共振器面には、活性層で発生する光を効率よく共振させるために、その表面に保護膜を設けるのが好ましい。特に、モニター側の共振器面には、出射側の共振器面と屈折率差を設けるためにも保護膜を設けるのが好ましい。具体的な材料として、導体材料としては、Si、Mg、Al、Hf、Nb、Zr、Sc、Ta、Ga、Zn、Y、B、Ti、更にはこれらの酸化物、窒化物、フッ化物などの化合物から選ばれたいずれかから選ばれたものを用いることができる。これらは、単独で用いてもよいし、複数を組み合わせた化合物或いは多層膜として用いてもよい。好ましい材料としてはSi、Mg、Al、Hf、Zr、Y、Gaを用いた材料である。また、また、半導体材料としてはAlN、AlGaN、BNなどを用いることができる。絶縁体材料としてはSi、Mg、Al、Hf、Nb、Zr、Sc、Ta、Ga、Zn、Y、Bの酸化物、窒化物、フッ化物等などの化合物を用いることができる。

#### 【0112】

本実施例では、具体的には、端面保護膜としてSiO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成させる。光反射側（モニター側）の共振器面には、スパッタ装置を用いてZrO<sub>2</sub>からなる保護膜を形成し、次いでSiO<sub>2</sub>とZrO<sub>2</sub>とを交互に6ペア積層して高反射膜を形成する。ここで、保護膜と、高反射膜を構成するSiO<sub>2</sub>膜とZrO<sub>2</sub>膜の膜厚は、それぞれ活性層からの発光波長に応じて好ましい厚さに設定することができる。また、光出射側の共振器面には、何も設けなくてもよいし、スパッタ装置を用いてZrO<sub>2</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZrO<sub>2</sub>よりなる第1の低反射膜とSiO<sub>2</sub>よりなる第2の低反射膜とを形成させてもよい。

#### 【0113】

最後に、リッジストライプと略平行になるようにスクライブにより溝を形成し

、その溝部でバーを切断して本発明の窒化物半導体レーザ素子を得る。上記のようにして得られる窒化物半導体レーザ素子は、電極の剥がれがなく、室温において閾値電流密度  $2.0 \text{ kA/cm}^2$ 、 $60 \text{ mW}$  の高出力において発振波長  $405 \text{ nm}$  の連続発振可能なものである。

#### 【0114】

##### [実施例 2]

実施例 2 では、p 側の第 1 電極の一部を第 2 の絶縁膜が覆うように形成させる。第 2 の絶縁膜の形成を以下のように行う以外は、実施例 1 と同様に行う。

#### 【0115】

##### (第 2 の絶縁膜)

第 1 電極形成後、 $\text{SiO}_2$  からなる第 2 の絶縁膜を、ほぼ全面に形成し、リッジ上の p 側の第 1 電極全面とリッジ両側の p 型半導体層上面の p 側の第 1 電極の一部、及び n 側の第 1 電極の一部を露出させるようにレジストを塗布し、ドライエッチングすることでそれぞれの電極の一部を露出させる。これにより、p 側及び n 側の第 1 電極の一部と、側面とが第 2 の絶縁膜で被覆される。ここでは、第 1 の絶縁膜は露出されないように形成されるが露出されていてもよい。

#### 【0116】

##### (第 2 電極：パッド電極)

次に、上記の第 2 の絶縁膜を覆うようにスパッタにより p 側の第 2 電極を形成させる。p 側の第 2 電極は、下層が Pt ( $1000 \text{ \AA}$ ) で、その上に Ti/Pt/Au ( $50 \text{ \AA}/1000 \text{ \AA}/6000 \text{ \AA}$ ) が形成される。また、n 側の第 2 電極は、下から Ni/Ti/Au ( $1000 \text{ \AA}/1000 \text{ \AA}/6000 \text{ \AA}$ ) で形成される。この第 2 電極は、第 2 の絶縁膜を介して p 側の第 1 電極及び n 側の第 1 電極にそれぞれストライプ状に接している。このようにして得られる窒化物半導体レーザ素子は、電極の剥がれは確認されず、室温において閾値電流密度  $2.0 \text{ kA/cm}^2$ 、 $60 \text{ mW}$  の高出力において発振波長  $405 \text{ nm}$  の連続発振可能なものである。

#### 【0117】

##### [実施例 3]

実施例 3 では、密着層を形成させる。実施例 1 において、第 1 の絶縁膜上に、p 側の第 1 電極を  $\text{Ni}/\text{Au}/\text{Pt}$  ( $100\text{ \AA}/1500\text{ \AA}/1500\text{ \AA}$ ) で形成させる。次いで、第 2 の絶縁膜として  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$  ( $1500\text{ \AA}/1000\text{ \AA}$ ) の 2 ペアからなる多層膜を形成させるが、このとき p 側の第 1 電極と約  $225\text{ }\mu\text{m}$  離間するよう形成させる。次いで、密着層として  $\text{Ti}/\text{Pt}$  ( $100\text{ \AA}/500\text{ \AA}$ ) を、p 側の第 1 電極の一部の上と、p 側の第 1 電極と第 2 の絶縁膜との間に露出している第 1 の絶縁膜上と、第 2 の絶縁膜上とに渡るように形成させる。そして、p 側の第 1 電極の上から密着層上に渡って p 側の第 2 電極として  $\text{Pt}/\text{Ti}/\text{Pt}/\text{Au}$  ( $1000\text{ \AA}/50\text{ \AA}/1000\text{ \AA}/6000\text{ \AA}$ ) で形成させる。他の工程は実施例 1 と同様に行い、本発明の窒化物半導体レーザ素子を得る。上記のようにして得られる窒化物半導体レーザ素子は、電極の剥がれは確認されず、室温において閾値電流密度  $2.0\text{ kA}/\text{cm}^2$ 、 $60\text{ mW}$  の高出力において発振波長  $405\text{ nm}$  の連続発振可能なものである。

#### 【0118】

##### [実施例 4]

実施例 4 では、実施例 1 において、p 側の第 1 電極の下層を  $\text{Ni}/\text{Au}$  ( $100\text{ \AA}/1500\text{ \AA}$ )、上層を  $\text{Pt}/\text{Ti}/\text{Pt}$  ( $500\text{ \AA}/100\text{ \AA}/500\text{ \AA}$ )、第 2 電極の下層を  $\text{Pt}$  ( $1000\text{ \AA}$ )、その上に  $\text{Ti}/\text{Pt}/\text{Au}$  ( $100\text{ \AA}/1000\text{ \AA}/6000\text{ \AA}$ ) で形成する以外は、実施例 1 と同様に行う。得られる窒化物半導体レーザ素子は、室温において閾値電流密度  $2.0\text{ kA}/\text{cm}^2$ 、 $60\text{ mW}$  の高出力において発振波長  $405\text{ nm}$  の連続発振可能なものである。

#### 【0119】

##### 【発明の効果】

本発明の半導体素子は、熱処理を行うことで半導体層とのオーミック接触が可能となる熱処理層からなる第 1 電極と、その上に形成される引き出し用の第 2 電極との間に、接合層領域を形成することで、優れた密着性を有すると共に、動作電圧が低く、かつ、高出力駆動時においても経時変化が少なく、極めて安定な動作特性を有する、信頼性に優れた窒化物半導体素子とすることができる。また、電極と絶縁膜との間に密着層を介在させることで、電極材料及び絶縁膜材料を、

互いの密着性を考慮せずに選択することができるので、更に良好な動作電圧を実現し、かつ、密着性にも優れた窒化物半導体素子とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施の形態 1 の窒化物半導体素子を説明する模式断面図

【図 2】 本発明の実施の形態 2 の窒化物半導体素子を説明する模式断面図

【図 3】 本発明の実施の形態 3 の窒化物半導体素子を説明する模式断面図

【図 4】 本発明の実施の形態 4 の窒化物半導体素子を説明する模式断面図

【図 5】 本発明の実施の形態 5 の窒化物半導体素子を説明する模式断面図

【図 6】 本発明の第 1 電極と第 2 電極との接合層領域の形成を説明する模式断面図

【図 7】 本発明の第 1 電極と第 2 電極との接合層領域を説明する模式断面図

【図 8】 本発明の実施の形態 6 の窒化物半導体素子を説明する模式平面図及びその模式断面図

【符号の簡単な説明】

101、201、301、401、501、801・・・基板

102、202、302、402、502、802・・・n 型窒化物半導体層

103、203、303、403、503、803・・・p 型窒化物半導体層

104、204、304、404、504、804・・・活性層

105、205、305、405、505、705、805・・・第 1 電極（  
p 側オーミック電極）

605（a）・・・第 1 電極の上層

605（b）・・・第 1 電極下層

106、206、306、406、506、706、806・・・第 2 電極（  
p 側パッド電極）

606（a）・・・第 2 電極の上層

606（b）・・・第 2 電極の下層

107、207、307、407、507、807・・・第 1 電極（n 側オー  
ミック電極）

108、208、308、408、508、808・・・第 2 電極（n 側パッ

ド電極)

1 0 9、2 0 9、3 0 9、4 0 9、5 0 9、6 0 9、7 0 9 . . . 第 1 の絶縁  
膜

1 1 0、2 1 0、3 1 0、4 1 0、5 1 0、7 1 0 . . . 第 2 の絶縁膜

3 1 1、4 1 1、7 1 1 . . . 密着層

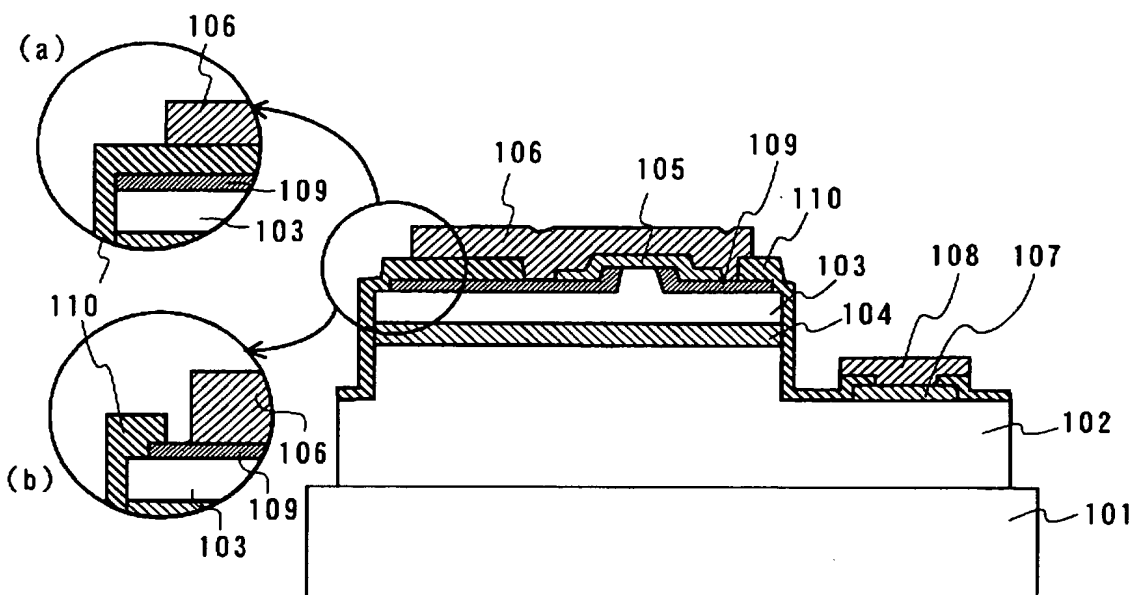
5 1 2 . . . 金属層

6 1 3、7 1 3、8 1 3 . . . 接合層領域

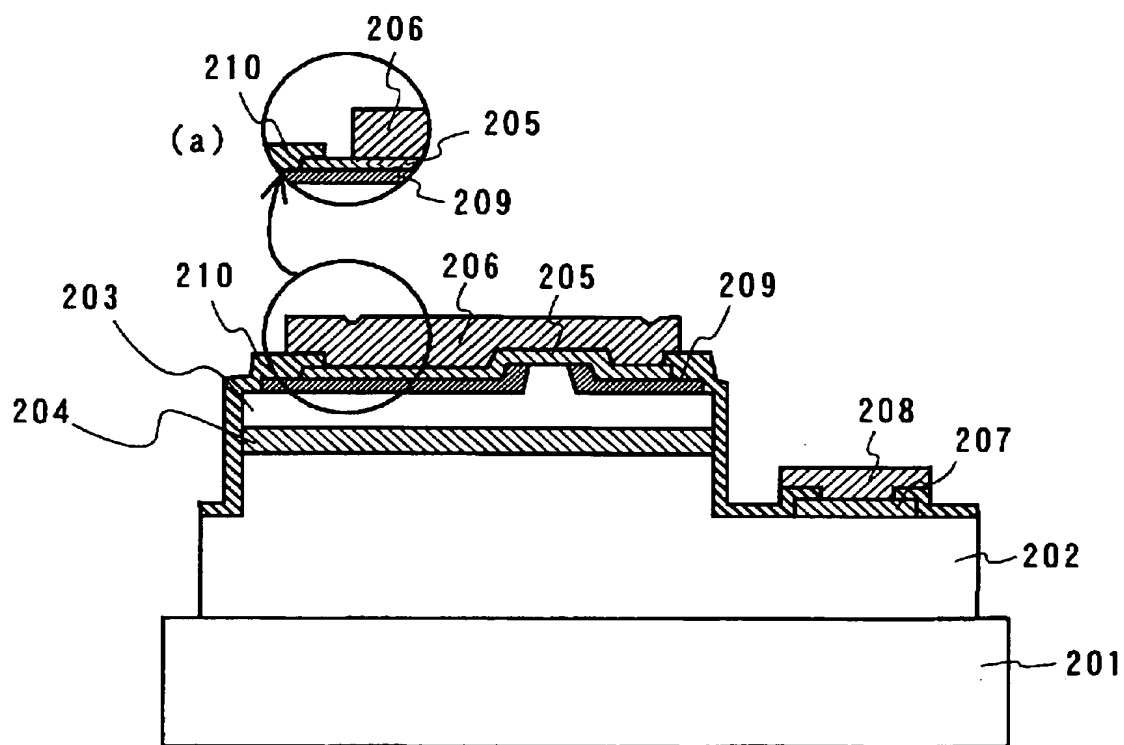
8 1 4 . . . 絶縁膜

【書類名】 図面

【図 1】

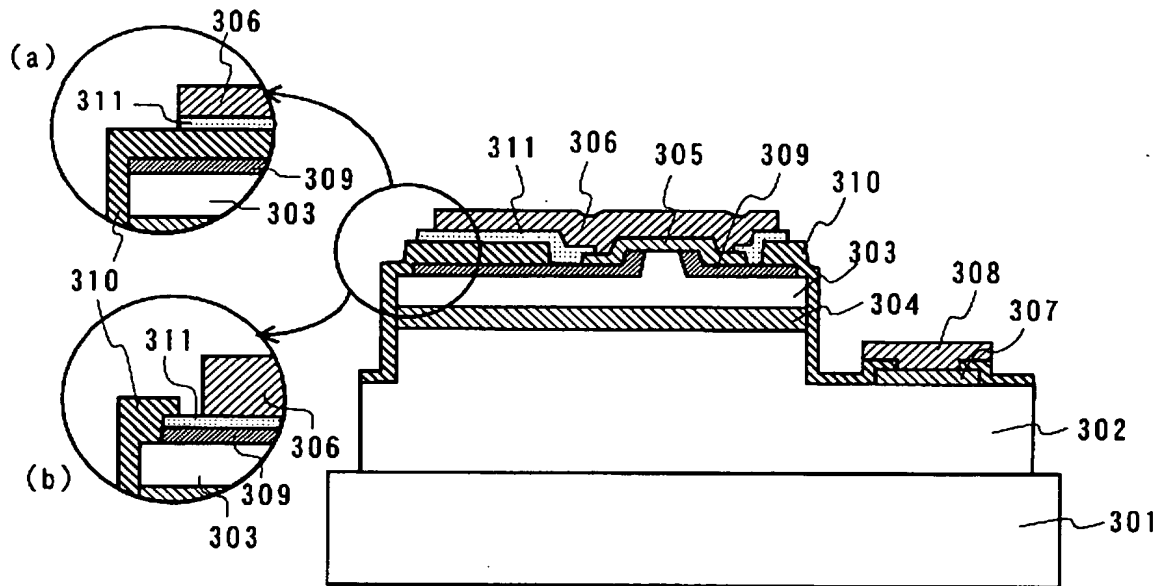


【図 2】

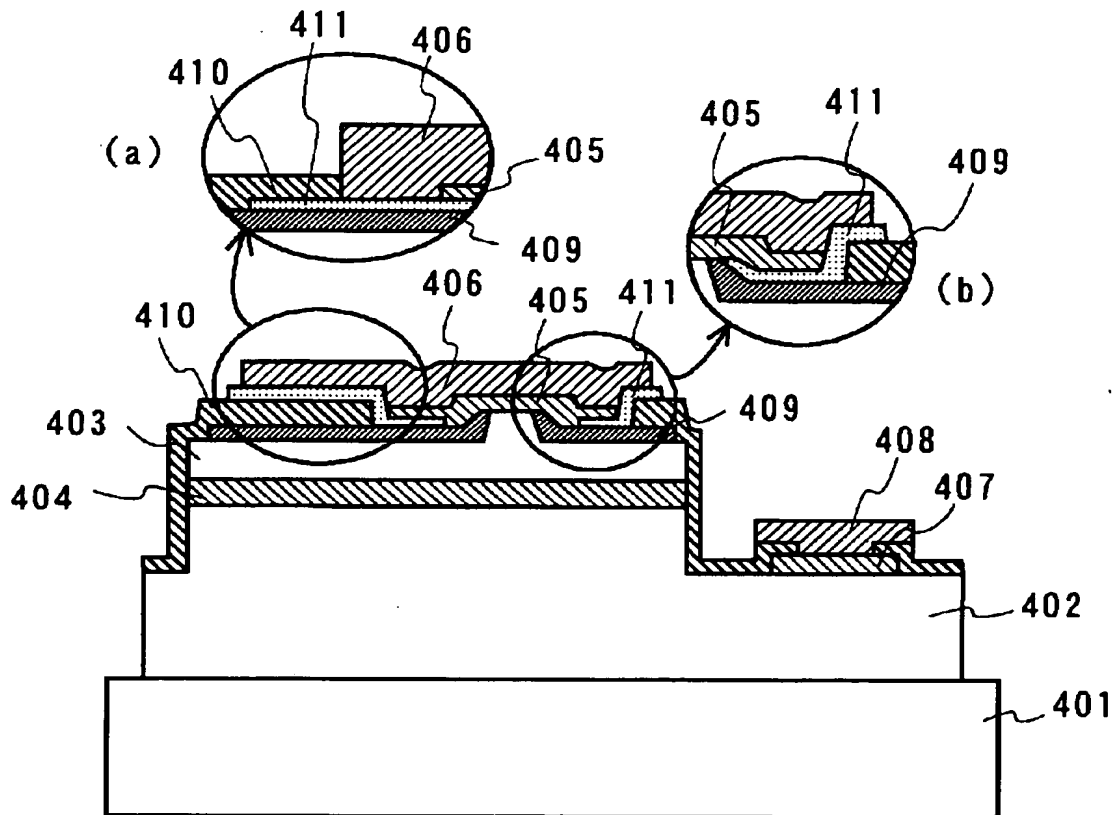




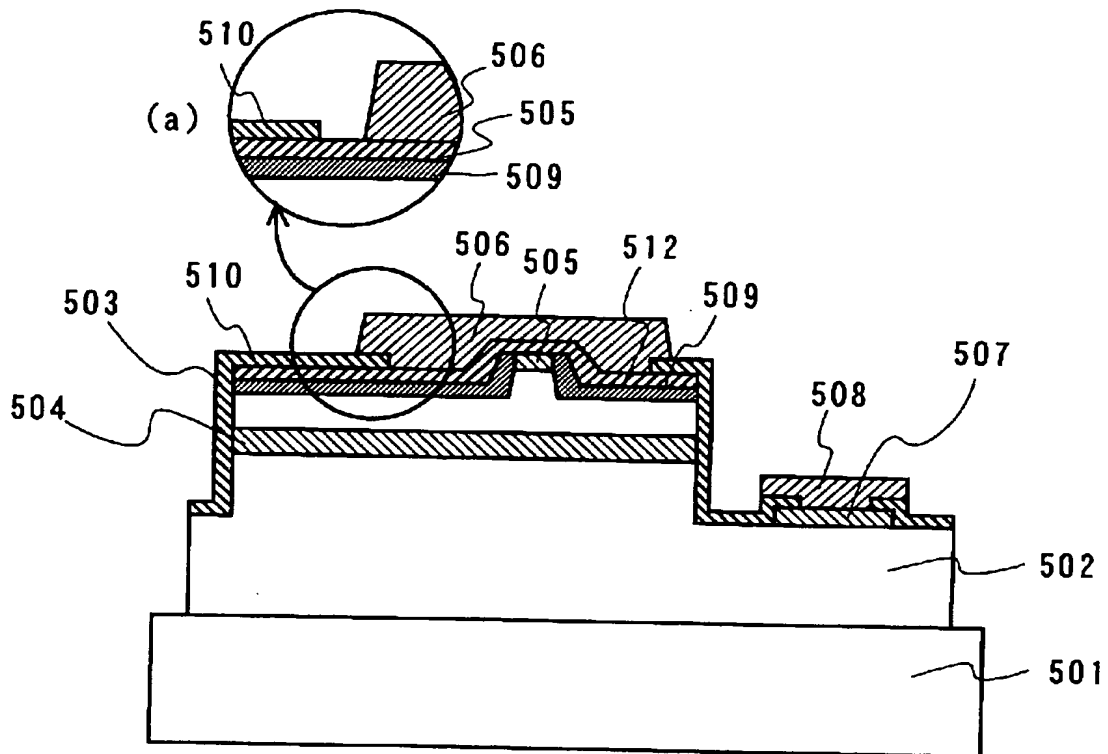
【図 3】



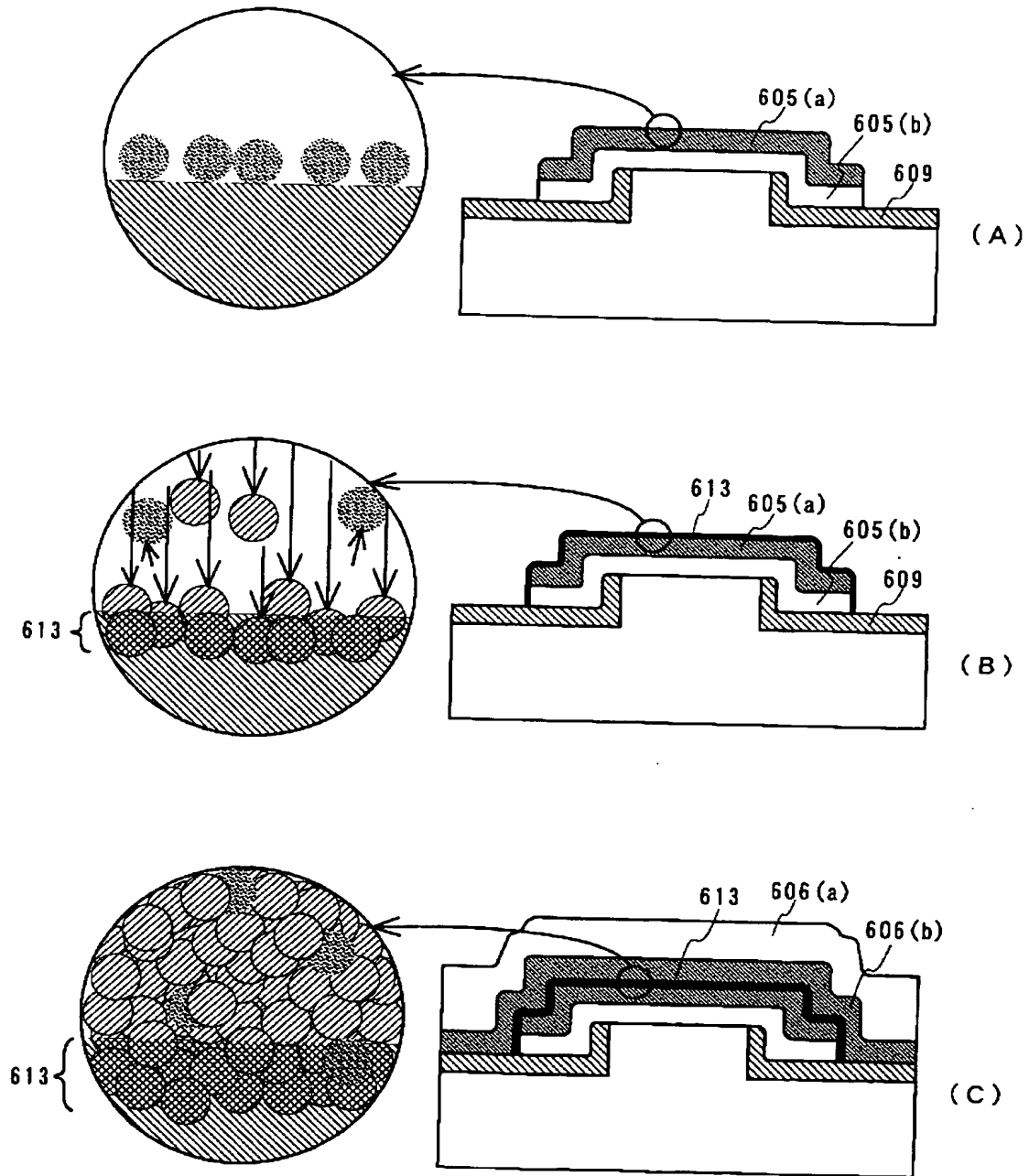
【図 4】



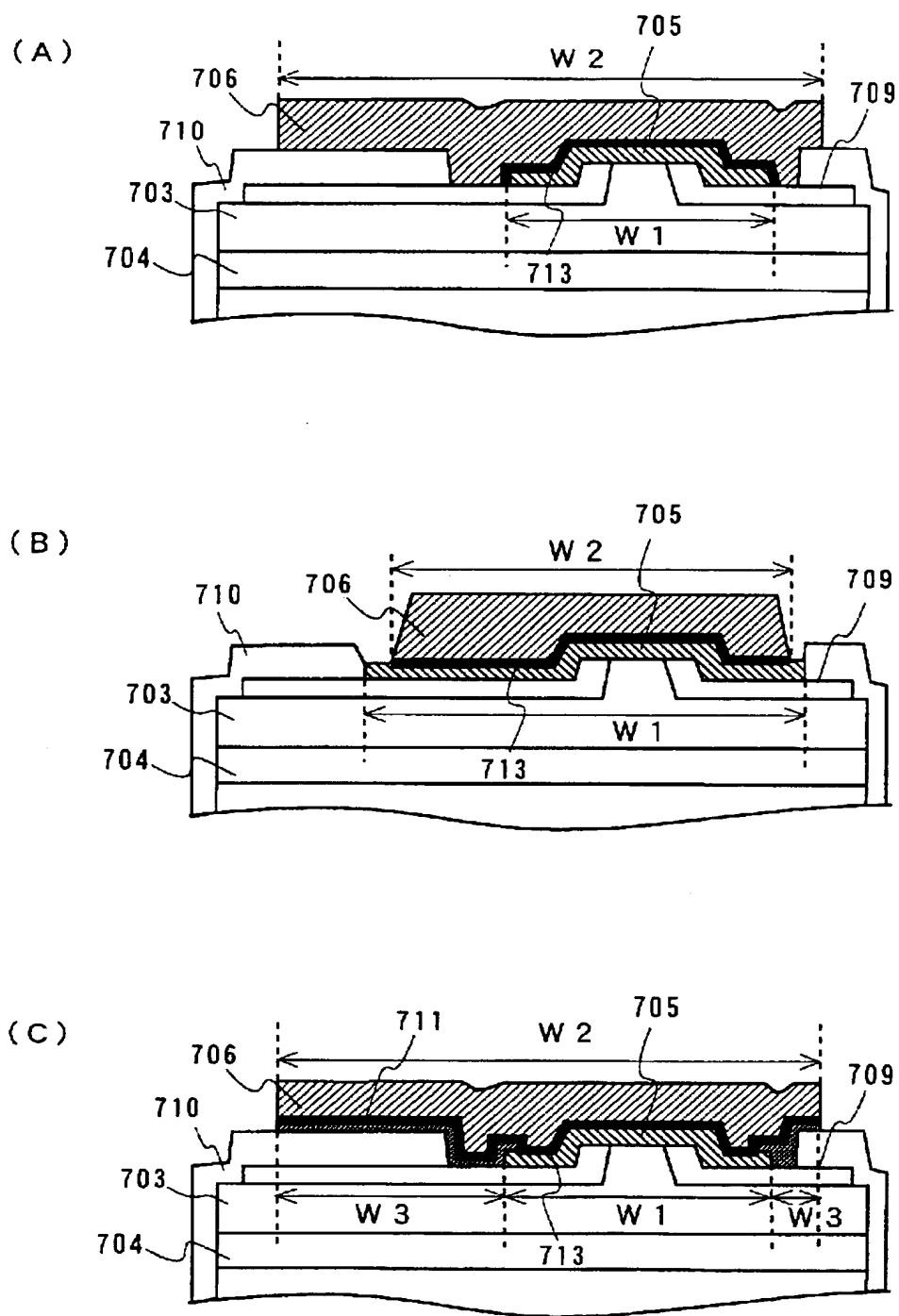
【図 5】



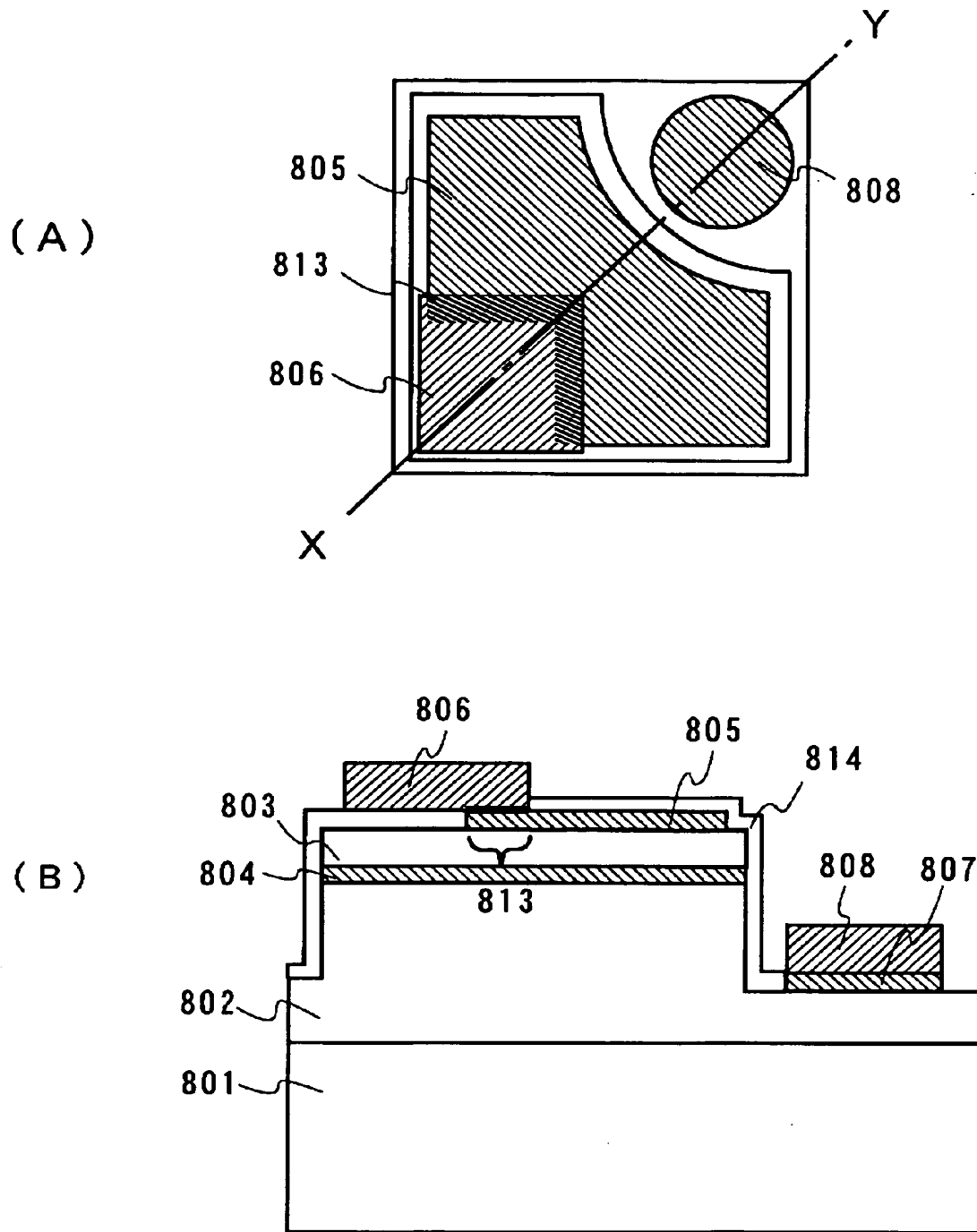
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 低抵抗で信頼性に優れた電極構造を有する窒化物半導体素子を提供する。

【解決手段】 半導体層上に、オーミック接触する第1電極と、その上に接し、第1電極と異なる形状からなる第2電極とを有する窒化物半導体素子であって、第1電極と前記第2電極は、第1電極表面を形成する第1電極の上層と、熱処理された第1電極に堆積された第2電極の下層とからなる接合層領域を有し、接合層領域が白金族元素からなることを特徴とする。

【選択図】 図1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2003-041060
受付番号	50300263538
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成15年 2月20日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成15年 2月19日
-------	-------------

次頁無

特願 2 0 0 3 - 0 4 1 0 6 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 2 2 6 0 5 7 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 8 日

[変更理由]

新規登録

住 所

徳島県阿南市上中町岡 4 9 1 番地 1 0 0

氏 名

日亜化学工業株式会社